

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

Patrik Kranjčec

**UTJECAJ KAPACITETA ZRAČNOG PROSTORA NA
UČINKOVITOST SUSTAVA UPRAVLJANJA ZRAČNIM
PROMETOM**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2017.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**UTJECAJ KAPACITETA ZRAČNOG PROSTORA NA
UČINKOVITOST SUSTAVA UPRAVLJANJA ZRAČNIM
PROMETOM**

**INFLUENCE OF AIRSPACE CAPACITY ON AIR TRAFFIC
MANAGEMENT EFFICIENCY**

Mentor: doc. dr. sc. Biljana Juričić

Student: Patrik Kranjčec, 0135221625

Zagreb, 2017.

SAŽETAK

Prognoze prometne potražnje STATFOR-a predviđaju nastavak kontinuiranog rasta prometne potražnje u Europi u budućnosti. Da bi zrakoplovstvo nastavila biti održiva, efikasna, brza i sigurna prometna grana, potrebno je odgovoriti na buduću prometnu potražnju i izvanredne situacije povećanjem deklariranog kapaciteta zračnog prostora. Eurocontrol je svjestan buduće situacije, te kroz projekt SESAR predstavlja mjere povećanja kapaciteta.

Svrha ovog rada je prikazati utjecaj promjene kapaciteta zračnog prostora na učinkovitost sustava upravljanja zračnim prometom Europe analizom pokazatelja učinkovitosti. Kroz simulaciju 1, prikazan je utjecaj smanjenja kapaciteta na pokazatelje učinkovitosti (duljina leta, vrijeme leta, potrošnja goriva, ispuštanje CO₂ i Nox plinova), smanjenjem kontroliranog zračnog prostora, kreiranjem više zona isključenja. Ovakvo smanjenje kapaciteta može biti uzrokovano neplaniranim događajima kao što je pogoršanje vremenske situacije. Simulacijom 2, prikazan je utjecaj promjene osnovnog sektorskog kapaciteta zračnog prostora ACC-a Zagreb od -60 % do +60 %, s povećanjem prometne potražnje, na primarni pokazatelj učinkovitosti kategorije Kapacitet, kašnjenje.

Rezultati analize simulacija pokazali su da, i minimalno smanjenje kapaciteta zračnog prostora može prouzrokovati velika kašnjenja, povećanje duljine, vremena leta, potrošnje goriva i generiranje emisija plinova CO₂ i NO_x. S druge strane, da bi se u potpunosti smanjili negativni efekti povećanja prometne potražnje potrebno je povećati kapacitet ACC-a Zagreb više od 60 % u odnosu na 2016. godinu.

KLJUČNE RIJEČI: kapacitet zračnog prostora; upravljanje zračnim prometom; pokazatelji učinkovitosti; kašnjenje; horizontalna učinkovitost; mjere povećanja učinkovitosti

SUMMARY

STATFOR forecasts continued air traffic demand growth in Europe in the future. In order for the aviation to continue to be a viable, efficient, fast and secure transport branch, it is necessary to respond to future traffic needs and unplanned situations by increasing the declared airspace capacity. Eurocontrol is aware of the future situation, and through the SESAR project it presents capacity-increasing measures.

The purpose of this paper is to demonstrate the impact of changes in airspace capacity on the efficiency of the European air traffic management system by analyzing performance indicators. Through simulation 1, the impact of capacity reductions on efficiency indicators (flight length, flight time, fuel consumption, CO₂ emissions and NO_x gases) is shown by reducing the controlled airspace by creating multiple exclusion zones. Such capacity reductions can be caused by unplanned events such as a worsening of the weather situation. Simulation 2 shows the impact of changes in the basic sector capacity of the ACC area Zagreb from -60 % to + 60 %, with increasing demand for traffic, on the primary performance indicators of the Capacity category, delay.

The results of performed simulations have shown that even minimal airspace capacity reductions can cause major delays, increase in length, flight time, fuel consumption, and increase in CO₂ and NO_x emissions. On the other hand, in order to completely reduce the negative effects of increased traffic demand, it is necessary to increase capacity in ACC Zagreb by more than 60%, compared to 2016.

KEYWORDS: airspace capacity; air traffic management; performance indicators; delay; horizontal efficiency; efficiency increase measures

Sadržaj

1. UVOD	1
2. Područja učinkovitosti sustava ATM-a i pokazatelji učinkovitosti za područje Kapacitet	3
2.1. Projekt SESAR	3
2.2. ATM Masterplan - plan razvoja i modernizacije zrakoplovstva u Europi	4
2.3. Kategorije i pokazatelji performansi	4
2.4. Ciljevi ATM Masterplana prema kategoriji i pojedinom pokazatelju performansi	9
3. Analiza kašnjenja i horizontalne učinkovitosti leta	16
3.1. Definicija ATFM kašnjenja	16
3.2. Podjela kašnjenja	16
3.3. Kašnjenje u ATM mreži	21
3.4. Horizontalna učinkovitost leta	21
3.5. Pregled trenutnog stanja broja zrakoplova u Europi	23
3.6. Pregled trenutnog stanja horizontalne efikasnosti leta u Europi	31
4. Pregled metodologije za određivanje i mjere povećanja kapaciteta zračnog prostora	36
4.1. Pregled metodologije za određivanje kapaciteta zračnog prometa	37
4.2. Mjere povećanja kapaciteta zračnog prometa	40
4.2.1. Optimizirana rutna korištenjem RNP-a	42
4.2.2. Kontrolirano vrijeme dolaska u srednje gusto/srednje kompleksnoj okolini	42
4.2.3. ASAS aplikacije za razdvajanje 'Ostani iza' i 'Spoji se iza'	43
4.2.4. Sektorske timske operacije - organizator prometa na ruti	43
4.2.5. Multi-sektorsko planiranje	43
4.2.6. MTCD alati i alati za mjerenje sukladnosti	44
4.2.7. Unaprijeđeni STCA	44
4.2.8. Unaprijeđeni ACAS sustavi	45
4.2.9. Automatska dinamička sektorizacija zračnog prostora	45
4.2.10. Napredno korištenje FUA-e (eng. Flexible Use of Airspace)	46
4.2.11. Alati za automatsku detekciju i rješavanje kompleksnih situacija	46
4.2.12. Rute po željama korisnika (uvod u FRA)	47
4.2.13. Slobodne rute korištenjem direktnog usmjeravanja (djelomični FRA koncept)	47
4.2.14. Slobodno rutiranje letova u srednje gusto okolini u cijelom području Europe (potpuni FRA koncept)	48

5. Primjena aplikacije NEST u istraživanju utjecaja kapaciteta zračnog prostora na učinkovitost ATM-a	50
5.1. Mogućnosti i ograničenja NEST aplikacije	51
5.2. Metodologija istraživanja	52
5.3. Grupa simulacija 1 - Smanjenje kapaciteta isključenjem dijela zračnog prostora	53
5.3.1. Učitavanje originalnog NEST scenarija	55
5.3.2. Kreiranje željenog toka prometa (filtriranje prometa)	55
5.3.3. Simulacija buduće prometne potražnje	56
5.3.4. Simulacija putanja zrakoplova	57
5.3.5. Spremanje scenarija	58
5.3.6. Spremanje podataka za usporedbu	59
5.3.7. Simulacija trajektorija sa zonama isključenja zračnog prostora	61
5.3.8. Usporedba rezultata simulacija analizom Scenario economy	63
5.4. Grupa simulacija 2 - Promjena kapaciteta smanjenjem/povećanjem deklariranog kapaciteta sektora	65
5.4.1. Simulacija regulacija	67
5.4.2. Simulacija kašnjenja	68
5.4.3. Spremanje scenarija (u više kopija)	70
5.4.4. Spremanje podataka za analizu	70
5.4.5. Promjena kapaciteta zračnog prostora	71
6. Analiza utjecaja promjene kapaciteta zračnog prostora na učinkovitost ATM-a	73
6.1. Analiza rezultata grupe simulacija 1	73
6.1.1. Usporedba duljina leta (u NM)	74
6.1.2. Usporedba vremena trajanja leta (u min)	76
6.1.3. Usporedba potrošenog goriva (u kg)	77
6.1.4. Usporedba generiranog CO ₂ i NO _x ispušnih plinova (u kg)	78
6.2. Analiza rezultata grupe simulacija 2	79
6.2.1. Utjecaj smanjenja kapaciteta na ATFM kašnjenje	80
6.2.2. Utjecaj povećanja kapaciteta na ATFM kašnjenje	81
6.2.3. Primjena rezultata simulacije promjene kapaciteta na stvarno ATFM kašnjenje	82
7. ZAKLJUČAK	85
Literatura	87
Popis kratica	89
Prilog 1. Dijagram toka grupe simulacija 1	92

Prilog 2. Dijagram toka grupe simulacija 2	93
--	----

1. UVOD

Sustav upravljanja zračnim prometom u Europi, iz godine u godinu, se sve teže opire utjecaju kontinuiranom povećanju prometne potražnje. Kao odgovor na povećanu prometnu potražnju potrebno je povećati kapacitet zračnog prostora. No, prije toga, potrebno je utvrditi trenutno stanje u kojem se sustav upravljanja zračnim prometom nalazi i koliko povećanje kapaciteta je dostatno da bi se u potpunosti odgovorilo na povećanu prometnu potražnju.

Trenutno stanje kapaciteta prostora u Europi iskazuje se u minutama kašnjenja, koje je ujedno i jedan od pokazatelja učinkovitosti zračnog prometa. Što je broj minuta kašnjenja manji to je sustav upravljanja zračnim prostorom učinkovitiji. Nadalje, da bi se dobio podatak o tome koliko koja mjera povećanja kapaciteta utječe na kašnjenje, potrebno je simulirati povećanje/smanjenje kapaciteta zračnog prostora.

U ovom Diplomskom radu biti će istražen utjecaj smanjenja i povećanja maksimalnog deklariranog kapaciteta zračnog prostora ACC-a Zagreb na broj minuta kašnjenja zrakoplova uz povećanje prometne potražnje. Također, kako bi se dobio potpuni uvid utjecaja promjene kapaciteta na sustav upravljanja zračnim prometom, osim na kapacitet, biti će istražen utjecaj na druge pokazatelje učinkovitosti sustava kao što su horizontalna učinkovitost, duljina leta, potrošeno gorivo, ispuštanje CO₂ i NO_x plinova.

U prvom dijelu rada biti će objašnjene kategorije učinkovitosti sustava upravljanja zračnim prometom, s naglaskom na kategoriju Kapacitet. U trećem poglavlju analizirati će se kašnjenje kao primarni pokazatelj učinkovitosti kategorije Kapacitet, te horizontalna učinkovitost kao sekundarni pokazatelj učinkovitosti iste kategorije. U četvrtom poglavlju govoriti će se o načinima na koje Eurocontrol kroz SESAR projekt

planira osigurati povećanje kapaciteta kao odgovor na konstantan rast prometne potražnje.

U drugom dijelu rada, u petom poglavlju, biti će prikazane dvije simulacije promjene kapaciteta zračnog prostora u aplikaciji NEST. U šestom poglavlju, analize dobivenih rezultata simulacija i usporedbi prikazati će utjecaj promjene kapaciteta na promatrane pokazatelje učinkovitosti sustava upravljanja zračnim prometom ACC-a Zagreb uz povećanje prometne potražnje.

2. Područja učinkovitosti sustava ATM-a i pokazatelji učinkovitosti za područje Kapacitet

Kao odgovor na kontinuirano povećanje zračnog prometa iznad Europe, 2004. godine, Europska unija i Eurocontrol, kao dio inicijative Ujedinjenog europskog neba (*eng. Single European Sky - SES*), pokrenuli su projekt SESAR (*eng. Single European Sky ATM Research - SESAR*).

2.1. Projekt SESAR

Svrha SESAR projekta je zajedničkim snagama svih zainteresiranih skupina **isplanirati, razviti i primijeniti u praksi rješenja** kao odgovor na konstantan rast prometa. Neke od interesnih skupina su centri kontrole zračnog prometa, avioprijevoznici, aerodromi, znanstvenici, te mnogi drugi koji na bilo koji način mogu imati koristi od primjene razvijenih rješenja u svome radu.

Osim kroz sudjelovanje u svim triju fazama, interesne skupine financiraju projekt, a najveću financijsku potporu projektu s preko 50 % sredstava sufinanciraju osnivači [1], Europska komisija (*eng. European Commission - EC*), iz proračuna Europske unije (*eng. European Union - EU*) i Eurocontrol, iz naplate preleta od zračnih prijevoznika.

Svaka jedinica, bilo jedinica kontrole zračnog prometa, zračni prijevoznik ili neki drugi, izravni ili neizravni, sudionik u zračnom prijevozu, definira svoj plan kako odgovoriti na probleme koji se pojavljuju u industriji. No, takav način rješavanja problema s kojima se suočava europski zračni prijevoz jednostavno nije održiv i vrlo je spor.

Da bi se što brže ostvarili definirani ciljevi, SESAR projekt donosi jedinstveni plan, Europski plan razvoja sustava upravljanja zračnim prometom (*eng. Air Traffic*

Management Masterplan - ATM Master Plan), koji definira plan razvoja zrakoplovstva u Europi za određeno razdoblje u budućnosti.

2.2. ATM Masterplan - plan razvoja i modernizacije zrakoplovstva u Europi

ATM Masterplan kao temeljni dokument SESAR-a (*eng. Statistics and Forecasts*) je putokaz razvoju zrakoplovstva u Europi, tj. definira plan i prioritete modernizacije cjelokupnog sustava zrakoplovstva u cjelini i teži postavljene ciljeve pretvoriti u realnost.

ATM Master plan mijenja prioritete razvoja svakih 3 - 4 godine, a temelji se na studijama koje provodi Eurocontrol i prognozama STATFOR-a. Zadnja verzija ATM Masterplan-a temelji se na studiji pod nazivom "*Challenges of Growth*", provedenoj u 2015. godini.

Navedena studija na temelju 'najvjerojatnije' prognoze STATFOR-a predviđa da će se promet u Europi, 2035. godine u odnosu na 2010. godinu, povećati za 1,5 puta, tj. da će 2035. godine u Europi letjeti oko 14,4 milijuna letova. [2]

2.3. Kategorije i pokazatelji performansi

Radi lakšeg praćenja planiranja, razvoja i implementacije, Eurocontrol kroz ATM Masterplan definira kategorije praćenja performansi: [2]

- Kapacitet (*eng. Capacity*)
- Sigurnost (*eng. Safety*)
- Troškovna učinkovitost (*eng. Cost efficiency*)
- Okoliš (*eng. Environment*)
- Zaštita (*eng. Security*)
- Operativna učinkovitost (*eng. Operational efficiency*).

Svaka od kategorija ima definirane pokazatelje performansi na razini cjelokupne Unije i pokazatelje performansi na lokalnoj razini, od kojih su neki ključni pokazatelji performansi, a neki obični pokazatelji performansi.

Pokazatelji performansi prema kategorijama performansi su vrlo bitni jer su to mjerljivi podaci koji praćenjem i uspoređivanjem tijekom vremena mogu otkriti u kojem smjeru se upravljanje zračnim prometom Europe kreće, da li se performanse spuštaju ili rastu.

Promjena se može dogoditi da npr. kapacitet u smislu broja zrakoplova koji mogu proći nekim dijelom zračnog prostora raste ili pada s implementacijom novih rješenja razvijenih u SESAR projektu. Pokazatelji performansi omogućuju praćenje stanja da bi se daljnjim planiranjem i akcijama moglo utjecati i poboljšati stanje s obzirom na predviđanja o porastu zračnog prometa ili nekog drugog parametra.

Članak 2 Provedbene uredbe komisije (EU) br. 390/2013 od 3. svibnja 2013. o utvrđivanju plana performansi za usluge u zračnoj plovidbi i mrežne funkcije, definira pokazatelje performansi i ključne pokazatelje performansi na sljedeći način:

Pokazatelji performansi su “pokazatelji koji se upotrebljavaju za praćenje, sustavno vrednovanje i provjeru performansi”. [3]

Ključni pokazatelji performansi su “pokazatelji performansi koji se upotrebljavaju za postavljanje cilja performansi”. [3]

Osim definiranih pokazatelja performansi od strane Europske komisije u ATM Masterplan-u, svaka jedinica na lokalnoj razini ima pravo definirati dodatne pokazatelje performansi. Lokalna razina odnosi se na razinu jednog funkcionalnog bloka zračnog prostora (*eng. Functional Airspace Block - FAB*).

Pokazatelji performansi i ciljevi za kategorije Sigurnost, Okoliš i Troškovna učinkovitost na razini cjelokupne Unije

Da bi se što bolje mogla shvatiti važnost ciljeva i ključnih pokazatelja performansi za kategoriju kapacitet, potrebno je prvo promotriti pokazatelje drugih kategorija učinkovitosti. Također, vrijedi primijetiti razliku između ključnih i osnovnih pokazatelja, te razliku između pokazatelja na razini cjelokupne Unije i lokalnoj razini.

Na razini cjelokupne Unije ključni pokazatelji performansi **za sigurnost** su: [3]

1. Najniža razina učinkovitosti upravljanja sigurnošću
2. Postotak primjene klasifikacije ozbiljnosti na temelju metodologije alata za analizu rizika (*eng. Risk Analysis Tool - RAT*).

Na razini cjelokupne Unije ključni pokazatelji performansi **za okoliš** su: [3]

1. Prosječna učinkovitost horizontalnog leta na ruti za stvarnu putanju
2. Prosječna učinkovitost horizontalnog leta na ruti za putanju iz posljednjeg predanog plana leta,

a pokazatelji performansi su: [3]

1. Učinkovitost postupaka rezervacije za fleksibilnu upotrebu zračnog prostora (*eng. Flexible Use Of Airspace - FUA*)
2. Stopa planiranja uvjetnih ruta (*eng. Conditional Route - CDR*) koja se definira kao omjer između zrakoplova koji predaju planove leta putem CDR-ova i broja zrakoplova koji su ih mogli planirati
3. Učinkovita upotreba CDR-ova koja se definira kao omjer između zrakoplova koji upotrebljavaju CDR-ove i broja zrakoplova koji su ih mogli planirati.

Na razini cjelokupne Unije ključni pokazatelji performansi **za troškovnu učinkovitost** su: [3]

1. Prosječni utvrđeni jedinični trošak (*eng. Determined Unit Cost - DUC*) na razini cjelokupne Unije za rutne usluge u zračnoj plovidbi
2. Prosječni DUC na razini cjelokupne Unije za terminalne usluge u zračnoj plovidbi,

a pokazatelji performansi su: [3]

1. Troškovi Eurocontrol-a.

Pokazatelji performansi i ciljevi za kategorije Sigurnost, Okoliš i Troškovna učinkovitost na lokalnoj razini

Na lokalnoj razini ključni pokazatelji performansi **za sigurnost** su: [3]

1. Učinkovitost upravljanja sigurnošću, u vezi s državama članicama
2. Primjena klasifikacije ozbiljnosti na temelju metodologije alata RAT
3. Izvješćivanje od strane država članica i njihovih pružatelja usluga u zračnoj plovidbi o razini prisutnosti i odgovarajućoj razini odsutnosti kulture pravičnosti,

a pokazatelji performansi su: [3]

1. Primjena sustava za automatsko bilježenje sigurnosnih podataka,
2. Izvješćivanje od strane država članica i pružatelja usluga u zračnoj plovidbi o razini izvješćivanja o događajima, na godišnjoj osnovi
3. Najmanje broj narušavanja minimalne separacije, neodobrenih ulaza na uzletno-sletnu stazu i događaja specifičnih za ATM pri svim jedinicama operativnih usluga u zračnom prometu.

Na lokalnoj razini ključni pokazatelji performansi **za okoliš** su: [3]

1. Prosječna učinkovitost horizontalnog leta na ruti za stvarnu putanju,

a pokazatelji performansi su: [3]

1. Dodatno vrijeme u fazi taksiranja pri uzlijetanju
2. Dodatno vrijeme u terminalnom zračnom prostoru.

Na lokalnoj razini ključni pokazatelji performansi **za troškovnu učinkovitost** su: [3]

1. Utvrđeni jedinični trošak za rutne usluge u zračnoj plovidbi
2. Utvrđeni jedinični trošak za terminalne usluge u zračnoj plovidbi.

Pregledom i usporedbom indikatora performansi na razini cjelokupne unije i onih na lokalnoj razini može se utvrditi da su indikatori pretežito jednaki.

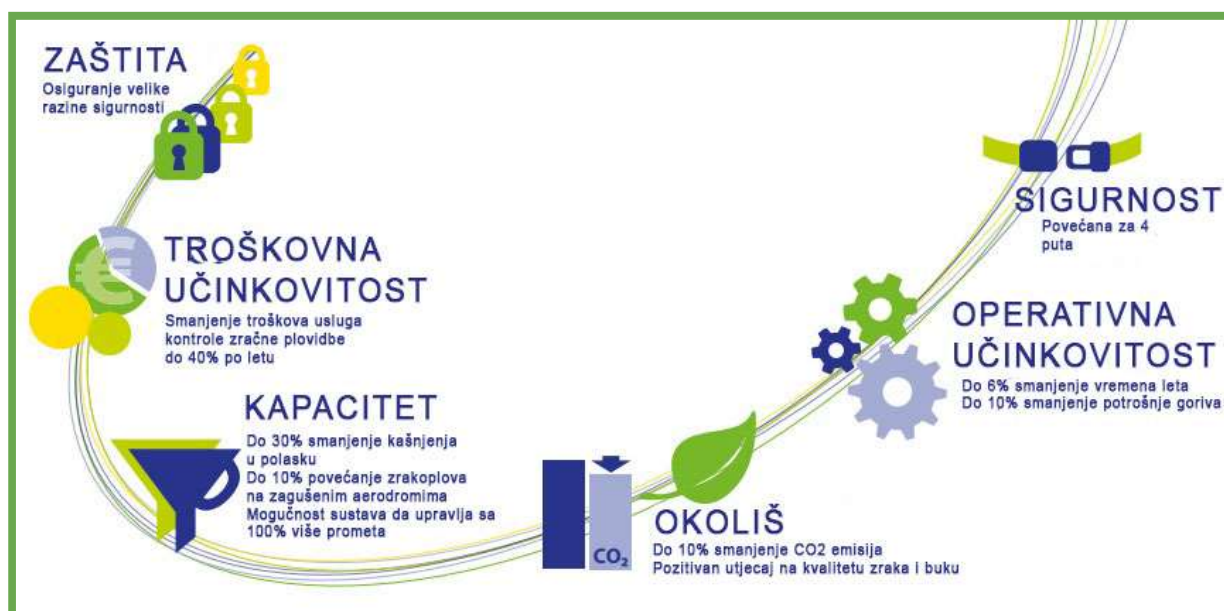
Također, Europska komisija definira dodatne parametre za lokalnu razinu pokazatelja učinkovitosti gdje pojedine članice npr. u kategoriji Sigurnost (njihove jedinice pružatelja usluga) moraju izvješćivati o razini odsutnosti kulture pravičnosti.

Nadalje, u kategoriji Okoliš, parametri su znatno prilagođeniji s obzirom na razinu u kojoj se primjenjuju dok su pokazatelji za učinkovitost u kategoriji Troškovna učinkovitost jednaki.

U sljedećem dijelu rada biti će prikazani ciljevi definirani u ATM Masterplanu koji po pojedinoj kategoriji pokazatelja učinkovitosti.

2.4. Ciljevi ATM Masterplana prema kategoriji i pojedinom pokazatelju performansi

Ciljeve koje definira ATM Master plan logično su raspoređeni prema kategorijama pokazatelja učinkovitosti što se može vidjeti iz slike 1. U ovom dijelu rada biti će prikazani ciljevi iz kategorija Sigurnost, Okoliš i Troškovna učinkovitosti, dok će ciljevi kategorije Kapacitet biti detaljnije razjašnjeni naknadno u zasebnom poglavlju.



Slika 1. - Kategorije praćenja performansi iz ATM Masterplan-a,

Izvor: [2]

Ispunjavanje predstavljenih ciljeva ovisi o mnogo različitih parametara od kojih su najutjecajniji, prognoza povećanja zračnog prometa, razvoj pojedinih tehnologija i projekata u fazi istraživanja i razvoja (*eng. Research and Development - R&D*), budući zahtjevi pojedinih korisnika, ekonomija Europske unije i pojedine zemlje članice, partnerstva i suradnja između članica FAB-ova, revizijama ATM Masterplana itd.

Scenarij koji može promijeniti tijek ispunjavanje ciljeva je pad prometne potražnje ili promjena u rutnoj mreži iznad Europe, te u tom slučaju ne bi bilo potrebe za daljnjim ubrzanim razvojem i implementacijom novih tehnologija u ATM Europe.

Predstavljeni podaci ciljeva po pojedinim kategorijama učinkovitosti odnose se na 2035. godinu i uspoređivati će se s podacima iz 2012. godine., godina zadnje dostupnih podataka koje obrađuje ATM Masterplan 2015, i 2005. godinom, godinom početka praćenja pokazatelja učinkovitosti.

Glavni cilj u kategoriji Troškovna učinkovitost je povećanje produktivnosti ATM-a Europe. Cilj povećanja mjeri se u troškovima *gate-to-gate* leta koji se dijele na troškove na ruti i terminalne troškove. U odnosu na 2005. godinu, do 2035. godine, smanjiti troškove više od 50 %, a u odnosu na 2012. godinu, smanjiti troškove za 30 - 40% što iznosi 290 EUR do 380 EUR po letu. [2]

Glavni cilj u kategoriji Okoliš je smanjiti utjecaj zrakoplovstva na okoliš za 10 % do 2035. godine u odnosu na 2005. godinu, a 5 - 10 % u odnosu na 2012. godinu. Parametar koji se mjeri i uspoređuje su emisije ugljikovog dioksida (*eng. Carbon dioxide* - CO₂) po letu u tonama. To bi značilo da se planira smanjiti ispuštanje 0,79 - 1,6 tona CO₂ po letu. [2]

Prema ovim podacima, sigurnost se planira povećati 10 puta u odnosu na sigurnost u 2005. godini, a mjeri se u nezgodama zrakoplova na koje je imao utjecaj ATM. Do 2035. godine u odnosu na 2012. godinu planira se povećati sigurnost 2 - 3 puta, što znači da se, s obzirom na procjenu povećanja prometa prema STATFOR-u, ne će povećati broj zrakoplovnih nesreća. [2]

Kroz vrijeme, od strane interesnih skupina, kao bitne u daljnjem planiranju ATM-a Europe, prepoznate su nove kategorije za praćenje performansi. Pa tako, osvježena verzija ATM Mastarplan-a navodi ciljeve i u novo definiranim kategorijama Operativna učinkovitost i Zaštita.

U kategoriji Operativna učinkovitost, glavni cilj smanjiti količinu potrošenog goriva po letu tako da se smanji trajanje leta. S obzirom na to da je to nova kategorija praćenja performansi, nema podataka koji uspoređuju ciljeve u odnosu na 2005. godinu, no cilj za 2035. godinu, u odnosu na 2012. godinu, je smanjiti trajanje leta za 4 - 8 minuta što je 3 - 6%, a to bi utjecalo na smanjenje 0,25 - 0,5 tona potrošenog goriva po letu, što je smanjenje od 5-10%. [2]

Kako se ovaj diplomski rad detaljnije bavi istraživanjem usko vezanim za kategoriju pokazatelja performansi Kapacitet, u sljedećem dijelu rada biti će detaljnije pojašnjeni ciljevi, pokazatelji performansi i ključni pokazatelji performansi za tu kategoriju.

Pokazatelji performansi i ciljevi za kategoriju Kapacitet

Kategorija pokazatelja performansi Kapacitet može se smatrati jednom od najbitnijih kategorija s obzirom na to da ona direktno i indirektno utječe na sve ostale kategorije praćenja. Sljedeći primjer to i dokazuje.

Ako u određenom vremenskom periodu dođe do povećanja kapaciteta unutar nekog zračnog prostora, a broj zrakoplova koji ulaze u taj prostor ostane jednak, izvjesno je da će ta ista količina prometa moći letjeti na kraćim udaljenostima što dovodi do skraćivanja puta zrakoplova unutar tog prostora, tj. smanjenja trajanja leta. Ova činjenica dokazuje da će se u tom slučaju smanjiti količina CO₂ ispuštena u atmosferu, tj. utjecaj na okoliš. Također, smanjiti će se vjerojatnost događaja zrakoplovne nesreće što ovaj slučaj povezuje s povećanjem sigurnosti. [2]

Razvoj događaja iz ovog primjera možda ne će direktno utjecati na kategoriju troškovne učinkovitosti, no ako se poveća broj zrakoplova (što je, po prognozi STATFOR-a, vrlo izvjesno), s povećanjem broja zrakoplova unutar istog zračnog prostora, povećati će se prihodi pružatelja usluge zračnog prometa (*eng Air Navigation*

Service Provider - ANSP), što znači da bi se troškovi po pojedinom zrakoplovu mogli smanjiti. U ovom vrlo izvjesnom slučaju, kapacitet bi imao utjecaj i na kategoriju pokazatelja performansi Troškovna učinkovitost.

Pokazatelji performansi sigurnosti nemaju direktan utjecaj na pokazatelje performansi iz kategorije zaštite, no svakako postoji indirektna veza preko ostalih kategorija pokazatelja performansi.

Ključni pokazatelj performansi u kategoriji Kapacitet na mrežnoj razini je: [3]

1. Prosječne minute kašnjenja na ruti ATFM-a po letu koje se mogu pripisati uslugama u zračnoj plovidbi,

a pokazatelj performansi je: [3]

1. Prosječne minute kašnjenja pri dolasku ATFM-a po letu koje se mogu pripisati terminalnim i aerodromskim uslugama u zračnoj plovidbi i koje su uzrokovane ograničenjima u vezi sa slijetanjem na odredišnom aerodromu.

Prosječne minute kašnjenja na ruti je razlika između vremena uzlijetanja koje je operator zrakoplova zahtijevao u posljednjem predanom planu leta i izračunanog vremena uzlijetanja koje je dodijelila središnja jedinica upravljanja protokom prometa (*eng. Air Traffic Flow Management - ATFM*). Izračunava ga središnja jedinica ATFM-a, tj. Upravitelj mrežom (*eng. Network Manager - NM*).

Ovaj pokazatelj performansi u svoje mjerenju uzima u obzir samo letove koji koriste pravila letenja po instrumentima (*eng. Instrument Flight Rules - IFR*) letove i sva kašnjenja uzrokovana od strane ATFM-a, no ne ubraja kašnjenja izvanrednih događaja.

Osnovno referentno razdoblje mjerenja je jedna kalendarska godina, no referentno razdoblje nije striktno zadano već se može mijenjati s obzirom na situaciju u kojoj se promatra.

Podatak o prosječnim minutama kašnjenja zrakoplova ključni je podatak o određivanju performansi pojedinih centara kontrole zračne plovidbe i nerijetko se koristi za usporedbu kvalitete između jednog ili više centara. Također, osim samih centara kontrole letenja, ovakav tip podatka koristi se za uspoređivanje performansi terminalnih kontrola letenja na aerodromima, te često za usporedbu učinkovitosti između performansi na razini cijelog svijeta, najčešće između vječitih rivala, Europe (Eurocontrol) i Amerike (FAA).

Osim na rutnom dijelu leta, vrlo je važan podatak o vremenu kašnjenja po zrakoplovu u terminalnim zonama, te je upravo to pokazatelj performansi u ovoj kategoriji. Ovaj podatak je važan jer direktno govori o performansama pojedinog aerodroma jer aerodromi postaju jedan od glavnih točaka u mreži s manjkom kapaciteta.

Mjerenje prosječnog kašnjenja po letu u terminalnim zonama odnosi se na dolazne IFR letove čije je kašnjenje prouzročio ATFM, a u mjerenje se ne ubrajaju letovi koji su bili sudionici izvanrednih događaja. Također, kao i ključni pokazatelj performansi u kategoriji Kapacitet, ovaj pokazatelj performansi izračunava se za cijelu kalendarsku godinu ili za razdoblje koje se promatra ili uspoređuje.

Na lokalnoj razini ključni pokazatelj performansi u kategoriji Kapacitet su: [3]

1. Prosječne minute kašnjenja na ruti ATFM-a po letu
2. Prosječne minute kašnjenja pri dolasku ATFM-a po letu koje se mogu pripisati terminalnim i aerodromskim uslugama u zračnoj plovidbi i koje su uzrokovane ograničenjima u vezi sa slijetanjem na odredišnom aerodromu,

a pokazatelji performansi su: [3]

1. Poštivanje slotova ATFM-a
2. Prosječne minute kašnjenja kontrole zračnog prometa prije uzlijetanja po letu.

Usporedbom mrežnih i lokalnih parametara kategorije pokazatelja performansi Kapacitet, može se zaključiti da su mrežni pokazatelji performansi vrlo bitni i lokalno. Tako se može primijetiti da je pokazatelju Kašnjenje pri dolasku koje se može pripisati terminalnim i aerodromskim uslugama povećana važnost, te je lokalno promaknut u ključne pokazatelje. Ostalih pokazatelja koji nisu ključni je također više što je i logično jer praćenje poštivanja slotova i minute kašnjenja prije uzlijetanja imaju veću važnost lokalno nego na cijelu mrežu.

Ciljevi ATM Masterplana prema ključnim pokazateljima za kategoriju Kapacitet

Glavni cilj ATM Masterplan-a u kategoriji Kapacitet je do 2035. godine povećati kapacitet ATM mreže iznad Europe tri puta u odnosu na 2005. godinu.

Ako pak ciljana predviđanja za 2035. godinu uspoređujemo s 2012. godinom, ATM Masterplan predviđa smanjiti ATM kašnjenje na ruti za 2 - 3 minute po letu što je ušteda od oko 10 - 30%. [2]

Pretvore li se navedeni podaci u dodatan broj letova koje će mreža moći opskrbljivati, to je oko 0,2 - 0,4 milijuna dodatnih zrakoplova na zagušenim aerodromima, a propusnost mreže će se povećati za 9,6 - 9,5 milijuna dodatnih zrakoplova. Gledano u postotnim poenima, u 2035. godini u odnosu na 2012. godinu ATM mreži će se povećati propusnost za 80 - 100%, dok će se protok prometa na zagušenim aerodromima povećati za 5 - 10%. [2]

Uspoređujući brojke, može se utvrditi da su ciljevi ATM Masterplan-a u kategoriji Kapacitet vrlo optimistični. Povećati kapacitet ATM mreže Europe u periodu od 30 godina zasigurno ne će biti nimalo lagan posao. Bez obzira na ovako optimistične brojke, ATM Masterplan sadrži konkretna rješenja koja će zasigurno opravdati uloženo, te doseći definirane ciljeve. Ne smije se zaboraviti kako su navedeni ciljevi promjenjivi, kao i ATM Masterplan. Svakom iteracijom ATM Masterplan se prilagođava trenutnoj situaciji kao i ciljevi koje definira po pojedinim kategorijama praćenja performansi.

Kako bi se istraživanje utjecaja kapaciteta na ATM Europe iz drugog dijela ovog Diplomskog rada moglo lakše pratiti i bolje razumjeti, potrebno je znati odgovore na sljedeća pitanja na koja odgovara sljedeće poglavlje ovog rada:

- Koji je glavni parametar mjerenja kapaciteta?
- Što je kašnjenje?
- Kako se mjeri kašnjenje?
- Zašto je kašnjenje kritično u ATM mreži?
- Kakvo je trenutno stanje kašnjenja?
- Kakva su predviđanja kašnjenja u budućnosti?
- Koji letovi su učinkoviti letovi?

3. Analiza kašnjenja i horizontalne učinkovitosti leta

ATM Master plan za kategoriju pokazatelja praćenja učinkovitosti Kapacitet navodi kašnjenje po letu kao glavni pokazatelj za mjerenje učinkovitosti. Prema tome, može se pretpostaviti da je glavni parametar za mjerenje kapaciteta zračnog prometa upravo vrijeme kašnjenja po letu, i to ne bilo koje kašnjenje, već kašnjenje uzrokovano od strane ATFM-a, na ruti, u dolasku i u odlasku.

3.1. Definicija ATFM kašnjenja

Kašnjenje se prema Eurocontrolu definira kao razlika između vremena polijetanja zahtijevanog od strane operatera zrakoplova i vremena polijetanja dodijeljenog od strane NM-a zbog regulacija uvedenih od strane upravitelja protokom prometa (*eng. Flow Management Position*), koje se uvodi zbog manjka kapaciteta na aerodromu ili sektoru nekog zračnog prostora. [2]

Istraživanje ovog Diplomskog rada bavi se rutnim dijelom mreže pa je bitno razumjeti definiciju kašnjenja na ruti. Kašnjenje na ruti Eurocontrol definira kao ATFM kašnjenje uzrokovano regulacijama u određenom volumenu zračnog prostora uvedenih od strane FMP-a zbog preopterećenja dijela zračnog prostora, tj. sektora.

3.2. Podjela kašnjenja

ATFM kašnjenje najčešće se dijeli na tri načina, dva formalnija, na kojima se temelje Eurocontrol-ovi izvještaji o analizi kašnjenja (*eng. Central Office for Delay Analysis Digest - CODA Digest*) koji dijeli kašnjenje u širem smislu i odnosi se na cjelokupnu avijaciju Europe, te izvještaja o učinkovitosti upravljanja protokom prometa (*eng. Air Traffic Flow Management Performance Review Report - ATFM PRR*) koji se bazira samo na ATFM kašnjenju, te ga i detaljnije dijeli prema nastanku s obzirom na uzroke unutar ATFM-a prema kategorijama performansi iz ATM Masterplan-a. Treći

način je nešto neformalniji, no ne i manje bitan. Kašnjenje se također može podijeliti **prema mjestu nastanka** unutar zračnog prostora, tj. prema fazi leta zrakoplova.

(I.) CODA Digest izvještaj Eurocontrola dijeli kašnjenje prema uzroku nastanka unutar cjelokupne avio-industrije ECAC regije. To znači da je kašnjenje podijeljeno opširnije, odnosi se na cijelu avio-industriju i to u sljedeće kategorije: [4]

- Zrakoplovna kompanija (*eng. Airline*)
- Zračna luka (*eng. Airport*)
- **Na ruti (*eng. En-route*)**
- Vlada (*eng. Governmental*)
- Vrijeme (*eng. Weather*)
- Ostalo (*eng. Miscellaneous*)
- **Naslijeđeno (*eng. Reactionary*).**

CODA Digest kategorije kašnjenja u skladu su s kodovima i grupama kašnjenja od strane Međunarodne organizacije za zračni prijevoz (*eng. International Air Transport Association - IATA*).

(II.) Druga podjela kašnjenja prema kategorijama iz ATFM PRR izvještaja Eurocontrola bazira se na uzroku kašnjenja zbog kojeg je došlo do potrebe za regulacijom prometa od strane FMP-a unutar nekog centra kontrole letenja (*eng Area Control Center - ACC*). Pregled kašnjenja prema ovoj podjeli daje detaljniji prikaz kašnjenja prouzrokovano od strane ATFM-a. Ovakvim pregledom kašnjenja mogu se lakše uspoređivati performanse pojedinih centara kontrole zračne plovidbe prema pokazateljima performansi iz kategorije Kapacitet. Također, ova detaljnija podjela kašnjenja s obzirom na ATFM, osim usporedbe pojedinih centara, omogućuje praćenje učinkovitosti svakog centra kontrole zračne plovidbe kroz vrijeme, tj. da li se performanse poboljšavaju ili degradiraju s vremenom.

Kategorije podjele kašnjenja **prema ATM PRR-u** su sljedeće: [5]

- **ATC Kapacitet (eng. ATC Capacity)**
- ATC Osoblje (eng. ATC Staffing)
- ATC Ometanje (eng. ATC Disruptions)
- Ometanje (eng. Disruptions)
- **Kapacitet/Povezivanje (eng. Capacity/Routing)**
- Događaji (eng. Events)
- Vrijeme (eng. Weather).

Ovakav način podjele preuzet je iz ATFCM priručnika. Navede kategorije mogu se podijeliti prema kodu kašnjenja [6]. Ako se promatra kategorija kašnjenja koja obuhvaća istraživanje ovog rada, ATC Kapacitet, ova kategorija ima samo jednu potkategoriju koja ima jednak naziv i označava se slovom C.

Kategorija kapacitet odnosi se na kašnjenje koje stvoreno zbog manjka kapaciteta u odnosu na trenutnu potražnju zračnog prometa, pa je potrebno aktivirati regulacije prometa. Sve kašnjenje koje se svrstava u ovu kategoriju, nastaje zbog toga što je potražnja zrakoplova za ulazak u neki zračni prostor veća od trenutnog kapaciteta istog zračnog prostora, drugim riječima, ako se od strane FMP-a nekog centra kontrole zračnog prometa deklarira regulacija zbog ovog uzroka, zračni prostor tog centra postaje usko grlo u mreži i problem za cjelokupni ATM sustav. Potrebno je analizirati situaciju i uvesti promjene kako bi se kapacitet povećao, te se u budućnosti izbjegle ovakve situacije. Uzroka problemu manjka kapaciteta može biti nebrojeno mnogo, te su uzroci, često, vrlo komplicirani za detektirati, također, ako se uzme u obzir da broj zrakoplova svake godine raste, nerijetko je potrebno biti proaktivan po pitanju kapaciteta kako bi se problem na vrijeme riješio, da ne dođe do dodatnog kašnjenja.

Ostale kategorije mogu se sastojati od više potkategorija. Tako na primjer kategorija ATC Ometanje sadrži potkategorije ATC Industrijske akcije koja se označava slovom I, i ATC Oprema, koja se označava slovom T. Kašnjenje u ovoj kategoriji odnosi se na kašnjenje koje je dodijeljeno zbog ometanja samih radnika kontrole zračne

plovidbe, najčešće sindikata, te ometanja i kvara na ATC opremi. Kašnjenje iznad Hrvatske na dan 31.7.2014., kada je bujica vode probila u strojarnicu Hrvatske kontrole zračne plovidbe (HKZP) kategorizirano je u ovu kategoriju, kao kašnjenje zbog kvara na opremi što se može vidjeti iz slike 2.



ACC Regulation List

LDZOCTA 31/07/2014 Nb Regulations: 11 Delay: 7643 min

Regu ID	TV ID	Ref. Loc.	Period Start	Period End	Capacity	Reason	Delay
LDTH31E	LDTH	LDZOTH	31/07/2014 03:00	31/07/2014 04:00	18	ATC Equipment	12
LDTHA31E	LDTHAX	LDZOTHA	31/07/2014 04:00	31/07/2014 06:00	17	ATC Equipment	261
LDN31E	LDNX	LDZON	31/07/2014 04:00	31/07/2014 08:00	20	ATC Equipment	570
LDULA31	LDULAX	LDZOULA	31/07/2014 04:00	31/07/2014 08:00	18	ATC Equipment	994
LDTHW31	LDTHWX	LDZOTHW	31/07/2014 06:00	31/07/2014 16:46	(20-36)	ATC Equipment	1199
LDTHS31E	LDTHSX	LDZOTHS	31/07/2014 06:00	31/07/2014 16:54	(18-32)	ATC Equipment	357
LDTHNX31	LDTHNX	LDZOTHN	31/07/2014 08:00	31/07/2014 16:54	(20-36)	ATC Equipment	666
LDULNX31	LDULNX	LDZOULN	31/07/2014 08:00	31/07/2014 16:54	(18-32)	ATC Equipment	668
LDULS31M	LDULSX	LDZOULS	31/07/2014 08:00	31/07/2014 16:54	(17-33)	ATC Equipment	699
LDULW3...	LDULWX	LDZOULW	31/07/2014 08:00	31/07/2014 17:00	(19-34)	ATC Equipment	1956
LDN31A	LDNX	LDZON	31/07/2014 18:20	31/07/2014 19:28	35	Weather	261

Slika 2. - ATC Oprema, kašnjenje u Croatia Controllu na 31.7.2014.,

Izvor: [7]

Kategorija Osoblje sastoji se od istoimene potkategorije i označava se slovom S, a odnosi se na neplanirani manjak radne snage, tj. osoblja.

Kategorija Ometanje sastoji se od potkategorija, Oprema, Industrijske akcije, Nesreća/incident, Ostalo i Nespecificirano. U ovoj kategoriju svrstava se kašnjenje koje nije direktno uzrokovano od strane kontrole zračne plovidbe, već postoji neki uzrok treće strane.

Kategorija Kapacitet/povezivanje sastoji se od potkategorija ATC (*eng. Air Traffic Control*) Rutiranje (R), Upravljanje zračnim prostorom (M), Kapacitet zračne luke (G), Ekološka pitanja (V). ATC Rutiranje odnosi se na kašnjenje direktno povezano s

odnosom između ponude i potražnje na rutnom dijelu zračnog prostora. Upravljanje zračnim prostorom odnosi se na kašnjenje prouzrokovano zbog potrebe drugih korisnika za zračnim prostorom kao što je rezervacija dijela zračnog prostora za potrebe vojske. Kašnjenje iz kategorije Kapacitet zračne luke povezan je s raznim faktorima o kojima ovisi kapacitet zračne luke kao što su kapacitet uzletno sletne staze, kapacitet stajanke itd. A, kašnjenje koje se grupira u kategoriju Ekološka pitanja, proizlazi iz potrebe za smanjenjem kapaciteta zbog ekoloških pitanja kao što su prekomjerna buka i slično.

Kategorija Događaji sastoji se od jedne, istoimene, potkategorije i označava se sa slovom P. U ovu kategoriju ubraja se sve kašnjenje koje su prouzrokovali neki specijalni i izvanredni događaji koji se ne odvijaju svakodnevno. To mogu biti specijalne vojne vježbe, specijalni državni događaji, veliki sportski događaji i slično. FMP ovu kategoriju koriste samo prema unaprijed dogovorenim uvjetima s NM-om.

Zadnja kategorije iz podjele kašnjenja prema ATM PRR-u, tj. prema ATFCM priručniku je Vrijeme. Kategorija Vrijeme sastoji se od potkategorija Vrijeme koja se označava slovom W i potkategorije Odleđivanje koja se označava slovom D. U ovu kategoriju svrstava se kašnjenje koje je direktno prouzrokovano zbog vremenskih neprilika kao što su snježna oluja, bura, magla i slično.

(III.) Treći, neformalan, način kategorizacije kašnjenja je prema dijelu zračnog prostora u kojemu je kašnjenje nastalo. Također, ovo se može parafrazirati i reći da se ova podjela odnosi na kašnjenje s obzirom na dio zračnog prostora na koje je kašnjenje najviše imalo utjecaj. Kategorije su sljedeće: [4]

- Kašnjenje u odlasku
- Kašnjenje na ruti
- Kašnjenje u dolasku.

Ovaj način podjele koristi se, uz prije navedenu podjelu, u CODA Digest izvještaju kao jedan način prikaza podataka o kašnjenju regije Europske organizacije civilnog zrakoplovstva (*eng. European civil aviation conference - ECAC*).

3.3. Kašnjenje u ATM mreži

Kašnjenje u ATM mreži vrlo je bitno pratiti jer, kao što je poznato, kašnjenje direktno utječe na kapacitet nekog zračnog prostora ili zračne luke. Kašnjenje u minutama po letu ključni je pokazatelj učinkovitosti kategorije pokazatelja učinkovitosti Kapacitet.

Rute zračnih puteva raspoređene su kao mreža, gdje se križanje ruta dvaju zrakoplova i njihova interakcija direktno odražava, mrežnim efektom na sve ostale zrakoplove koji se kreću u istoj mreži. Mrežni efekt vrlo je značajan u zračnom prometu, a tendencija je takva da postaje još značajniji jer se kapacitet smanjuje, tj. interakcija leta jednog zrakoplova s drugima se povećava zbog povećanja broja zrakoplova koji se kreću u istom zračnom prostoru. Najveći oblik kašnjenja u zračnom prostoru ECAC regije je naslijeđeno kašnjenje koje nastaje upravo zbog mrežnog efekta, stoga je potrebno optimizirati mrežu, te smanjiti količinu interakcije zrakoplova povećanjem kapaciteta.

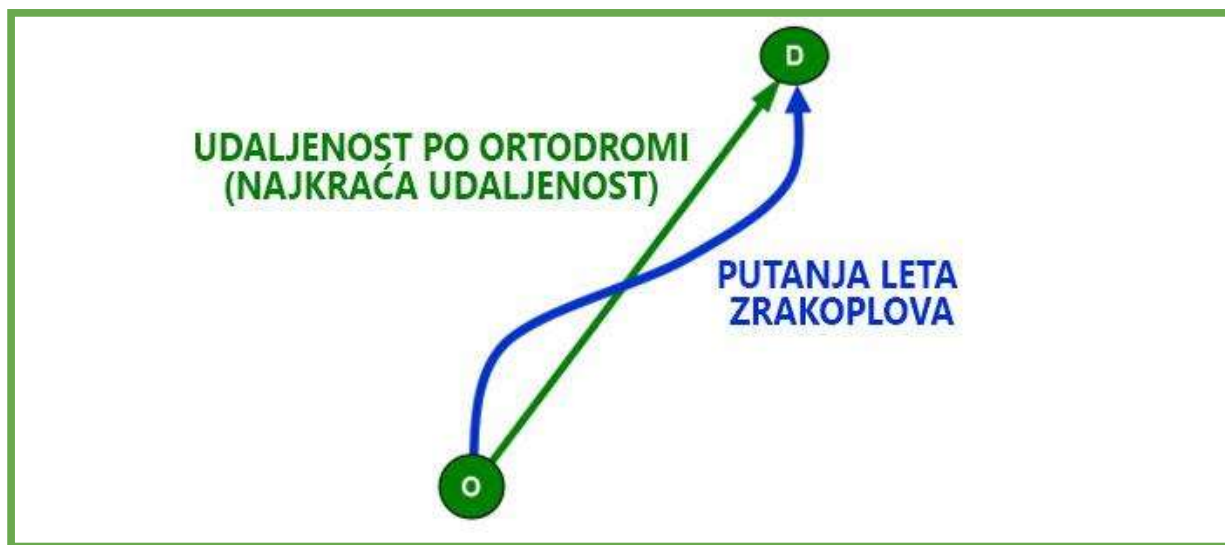
3.4. Horizontalna učinkovitost leta

Jedan od načina povećanja kapaciteta je povećanje protoka zrakoplova kroz mrežu. Što je brži protok, zrakoplovi se manje zadržavaju u mreži što otvara mogućnost za primanje novih zrakoplova u mrežu. Povećanje protoka zrakoplova u mreži moguće je povećanjem horizontalne učinkovitosti leta što znači minimiziranje puta koji zrakoplov prolazi između početne i krajnje točke na ruti.

Da bi se povećala horizontalna učinkovitost nekog leta koji prolazi mrežom, potrebno je njegovu rutu približiti što je moguće više onoj idealnoj putanji tako da se

omogući kretanje zrakoplova između početne i krajnje točke leta po ortodromi (*eng. Great circle distance*).

Omjer između udaljenosti između dvije točke po ortodromi i stvarne putanje zrakoplova između tih točaka može se vidjeti na slici 3.



Slika 3. - Omjer između stvarne putanje zrakoplova i udaljenosti po ortodromi,
Izvor: [8]

Danas, zrakoplovne kompanije planiraju letove i lete prema navigacijskim točkama. Navigacijske točke su zamišljene točke u zračnom prostoru omeđene GPS koordinatama. Da bi zrakoplov letio od početne do krajnje udaljenosti, ako kontrola letenje ne intervenira svojim instrukcijama, zrakoplov leti po točkama iz plana leta. Navigacijske točke nisu idealno posložene u prostoru da omogućuju let po ortodromi, pa putanja zrakoplova nije idealna. Povećanje kapaciteta može se omogućiti povećanjem horizontalne učinkovitosti, a to je let zrakoplova po ortodromi. Koncept slobodnog letenja (*eng. Free route airspace - FRA*), iz ATM Masterplan-a svojom potpunom implementacijom omogućavao bi upravo let zrakoplova po ortodromi, tj. mogućnost planiranja leta i letenja od početne do krajnje točke najkraćom mogućom putanjom.

Let najkraćom mogućom, pravocrtnom, putanjom smanjio bi kompleksnost prometa i tako smanjio opterećenje na kontrolore letenja koji su još jedan od čimbenika u nizu za povećanje kapaciteta. Svaki kontrolor ima svoj osobnu maksimalnu granicu, tj. količinu zrakoplova koje može u istom trenutku nadzirati. Smanjenjem kompleksnosti prostora i prometa, smanjilo bi se radno opterećenje kontrolora te posredno povećao kapacitet kontrolora i tako otklonila prepreka ljudskog faktora u generalnom povećanju kapaciteta zračnog prostora.

Benefiti implementacije ovog koncepta leta odnosili bi se, ne samo na kategoriju pokazatelja učinkovitosti Kapacitet, već i na sve ostale kategorije ključnih pokazatelja kako objašnjeno na početku ovog poglavlja.

U nastavku ovog poglavlja biti će predstavljeni trenutni podaci koji će detaljnije predočiti stanje broja zrakoplova, kapaciteta zračnog prostora i horizontalne učinkovitosti ECAC regije, te utjecaj prognoze STATFOR-a na iste.

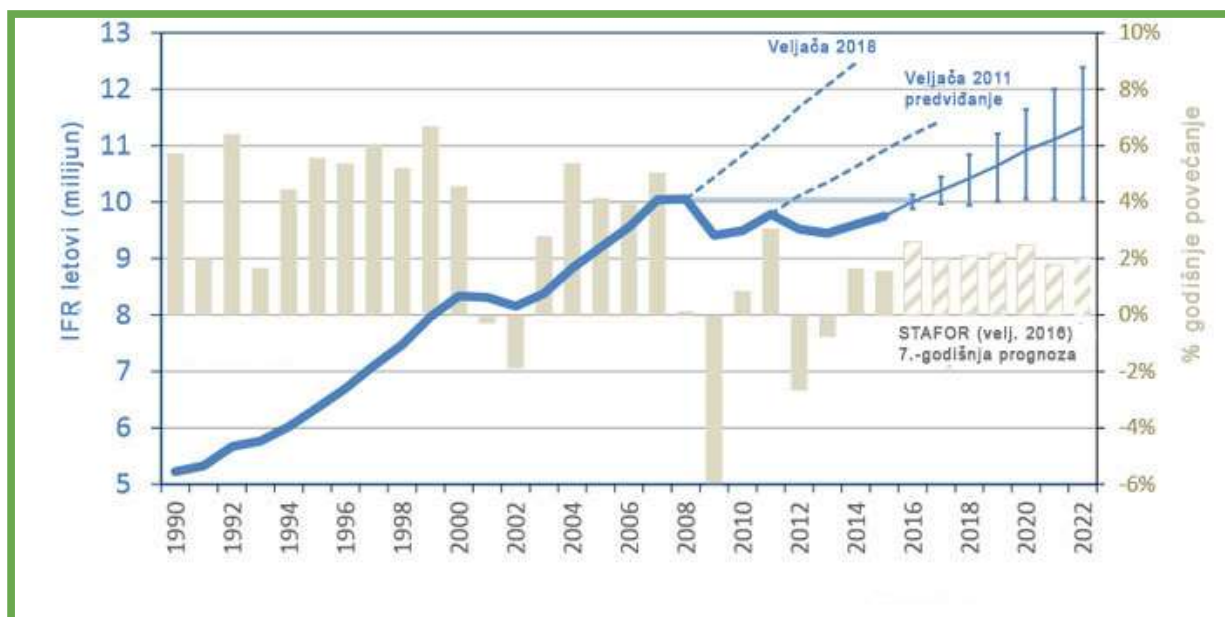
3.5. Pregled trenutnog stanja broja zrakoplova u Europi

Jedan od glavnih ciljeva SES inicijative je trostruko povećati kapacitet u odnosu na stanje kapaciteta iz 2005. godine. Drugim riječima, rješenja iz ATM Masterplan-a, do 2035. godine, omogućiti da zračni prostor Europe preleti preko 28.5 milijuna zrakoplova godišnje [9]. S obzirom na konstantan rast broja zrakoplova iz godine u godinu, to ne će biti nimalo lagan zadatak.

Eurocontrol, da bi pratio da li se zrakoplovstvo Europe približava ciljevima SES inicijative, na godišnjoj bazi prati stanje pokazatelja performansi prema kategorijama pokazatelja performansi kroz dokument ATM PRR. Za kategoriju Kapacitet prati se ključni pokazatelj performansi ATFCM kašnjenje.

Zadnji dostupan ATM PRR predstavlja podatke o performansama za 2015 godinu, osim podataka troškovne učinkovitosti koji su zadnji dostupni za 2014. godinu. Podaci iz ovog dokumenta obuhvaćaju podatke svih 41 članicu Eurocontrol-a koji su sumirani u generalni izvještaj performansi ATM-a Europe. [5]

Trendovi povećanja broja letova i povećanje kašnjenja otkrivaju veliki problem manjka kapaciteta kontroliranog zračnog prostora Europe. Broj IFR zrakoplova se iz godine u godinu povećava, a prognoza STATFOR-a predviđa da će se povećavati i sljedećih godina što se može vidjeti iz grafa 1. Broj letova u 2015. godinu u odnosu na 2014. godinu veći je za 1,5 % i iznosi 9,75 milijuna letova. Ukupan broj sati leta zrakoplova povećan je za 1,7 %, te iznosi 14,8 milijuna sati. Ukupna prijeđena udaljenost svih letova povećana je za 1,8 %, a iznosi 10 501,7 milijuna kilometara. [5]



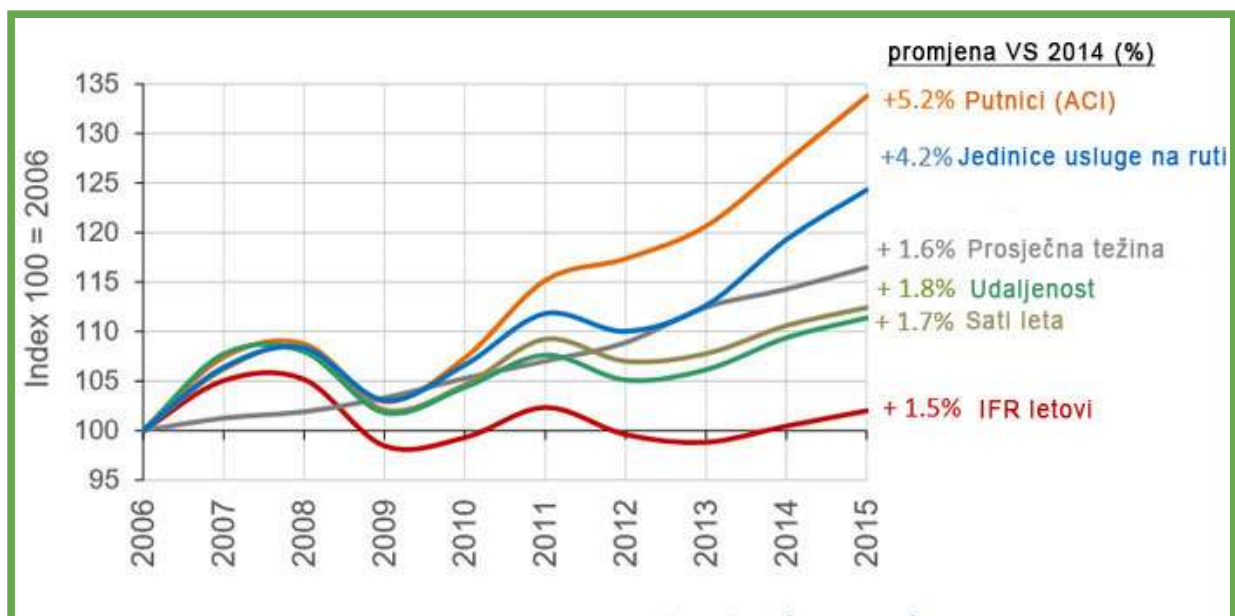
Grafikon 1. - Prognoza STATFORA o kretanju broja letova u Europi od 2016. do 2022. god.

Izvor: [5]

Ako se podaci o ukupnom broju sati leta i ukupnom broju prijeđenih nautičkih milja podijele s ukupnim brojem letova, dobiva se prosječno trajanje leta i prosječna dužinu leta. Prosječno trajanje leta povećalo se u odnosu na 2014. godinu za 0,1 %, a

iznosi 91,3 minute, a prosječna dužina leta povećala se za 0,3 %, a iznosi 1077 kilometara. Ako se ukupan broj prijeđenih kilometara podijeli s ukupnim brojem sati leta, dobiva se prosječna brzina leta zrakoplova. Prosječna brzina zrakoplova također se povećala, i to za 0,2 %, a iznosi 707,9 kilometara na sat. [5]

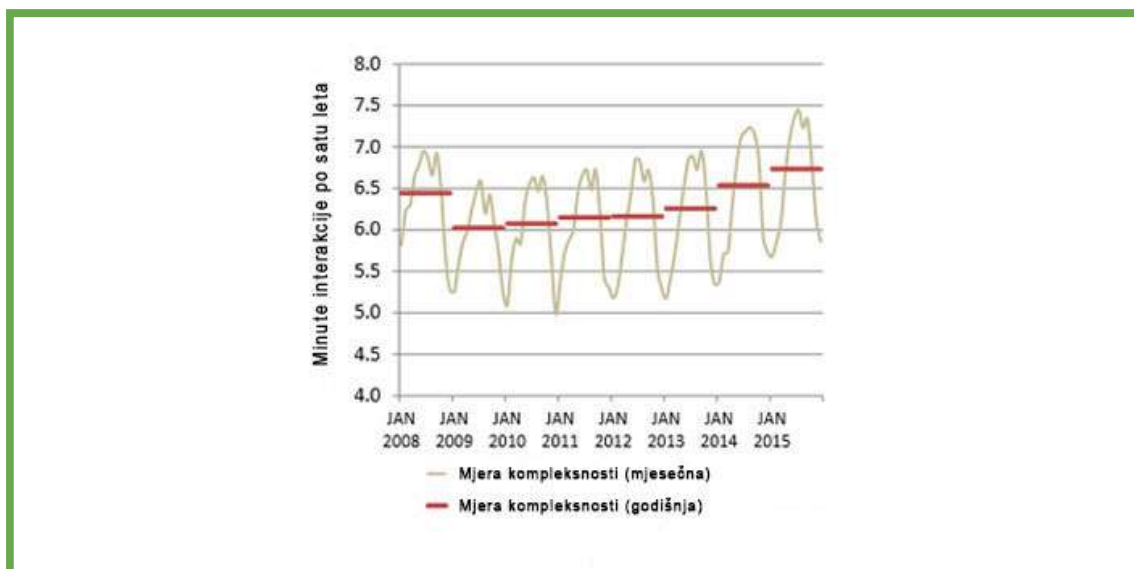
Broj letova u 2015. godini nije prešao brojku iz 2008. godine, kada je zabilježen najveći broj zrakoplova u jednoj godini do sada, kapacitet se smanjuje jer, kao što se može vidjeti iz grafa 2, ukupan broj sati leta se kontinuirano povećava.



Grafikon 2. - Promjene u 2015. god. u odnosu na 2014. god.

Izvor: [5]

Kapacitet ne ovisi samo o jednom parametru, broju zrakoplova, već ovi ovi o nizu parametara. U ovom poglavlju već je spomenuta kompleksnost kao jedan od parametara, a nizu treba pridodati dužinu trajanja leta. Što je dužina trajanja leta veća, tj. što je duže vrijeme koje zrakoplovi provode u zraku, povećava se broj zrakoplova koji se u istom trenutku nalaze u nekom prostoru što povećava kompleksnost, a smanjuje kapacitet. Iz grafa 3, može se vidjeti trend povećanja kompleksnosti prometa po godini, od 2008. godine, do 2015. godine.



Grafikon 3. - Kompleksnost prometa u Europi kroz godine

Izvor: [5]

Iako je broj zrakoplova generalno veći, nisu sve države imale rast u 2015. godini. Ukrajina, Norveška, Moldavija, Armenija, Španjolska, Poljska i Slovenija imale su pad broja zrakoplova u 2015. godini u odnosu na 2014. Hrvatska je jedna od zemalja koja je imala rast broja zrakoplova iznad prosjeka. Nadalje, Hrvatska je imala rast od 3 % što je dvostruko više od prosjeka. U zemljama kao što je Hrvatska, zbog veće stope rasta broja zrakoplova, kapacitet postaje još kritičniji faktor nego u zemljama s manjom stopom rasta [5]. Na promet u Hrvatskoj, zbog svog položaja na karti, dodatno utječe sezonalnost, što daje naslutiti da je stopa povećanja broja zrakoplova u sezoni veća nego u post sezoni, što dodatno utječe na kapacitet zračnog prostora i kašnjenje.

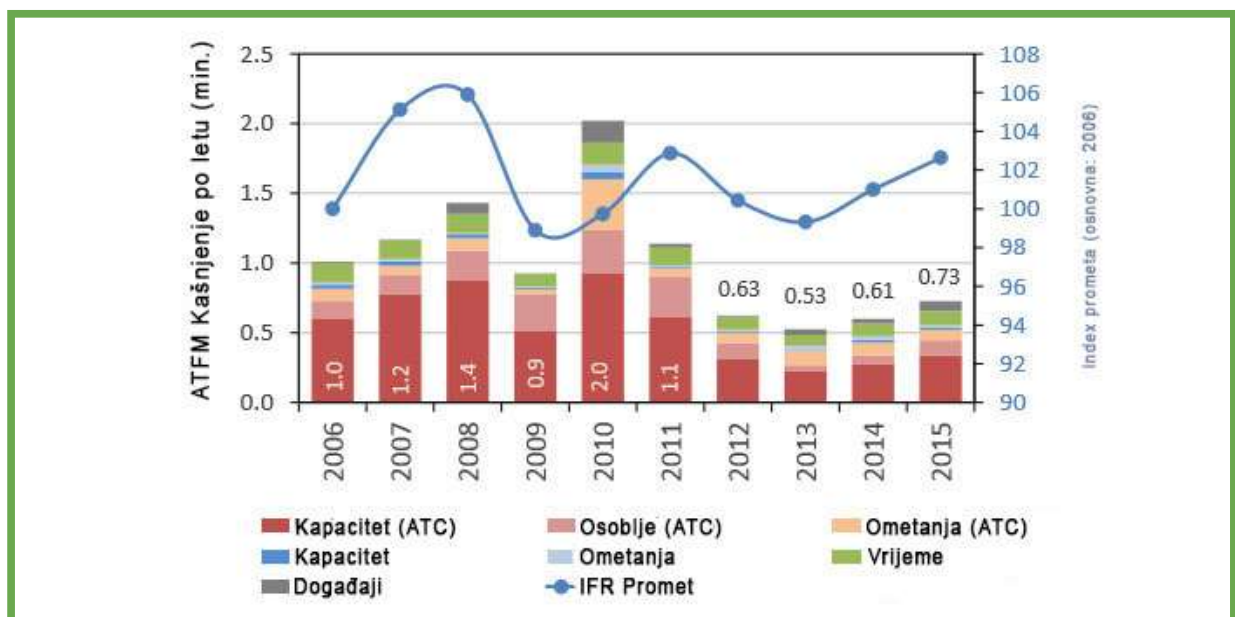
Prema sedmogodišnjoj vjerojatnoj prognozi STATFOR-a, u 2016. godini predviđa se daljnje povećanje prometa, za 2,4 % na prostoru cijele referentne statističke regije Eurocontrola 08 (*eng. Eurocontrol Statistical Reference Area - ESRA*). Prognoza povećanja broja zrakoplova za Hrvatsku, prema istoj prognozi, iznosi 2,3 % što je prosječno po danu oko 280 zrakoplova više [5]. Iako se trend prosječnog povećanja broja zrakoplova iznad cijele Europe povećava, STATFOR prognozira nešto sporiji

trend povećanja broja zrakoplova za Hrvatsku bez obzira na to što je povećanje u 2015. godini u odnosu na 2016. godinu bilo daleko iznad prosjeka Europe.

Pregled trenutnog stanja kašnjenja u Europi

Iako je broj zrakoplova porastao za 1,5 % u odnosu na 2014. godinu, broj minuta kašnjenja u 2015. godini povećao se za 23,3 %, tj. 7,2 milijuna minuta, što ako se podijeli s brojem letova iznosi 0,73 minute po letu. Nadalje, broj letova koji su imali kašnjenje u rutnoj fazi leta je 2,0 % što je za 0,4 % više nego 2014. godine. [5]

Na grafu 4 može se vidjeti odnos promjene broja zrakoplova i ATFM kašnjenja po letu u rasponu od 2008. do 2015. godine. Broj zrakoplova i broj minuta kašnjenja, zadnjih se godina povećavaju i tendencija je da će dalje rasti.

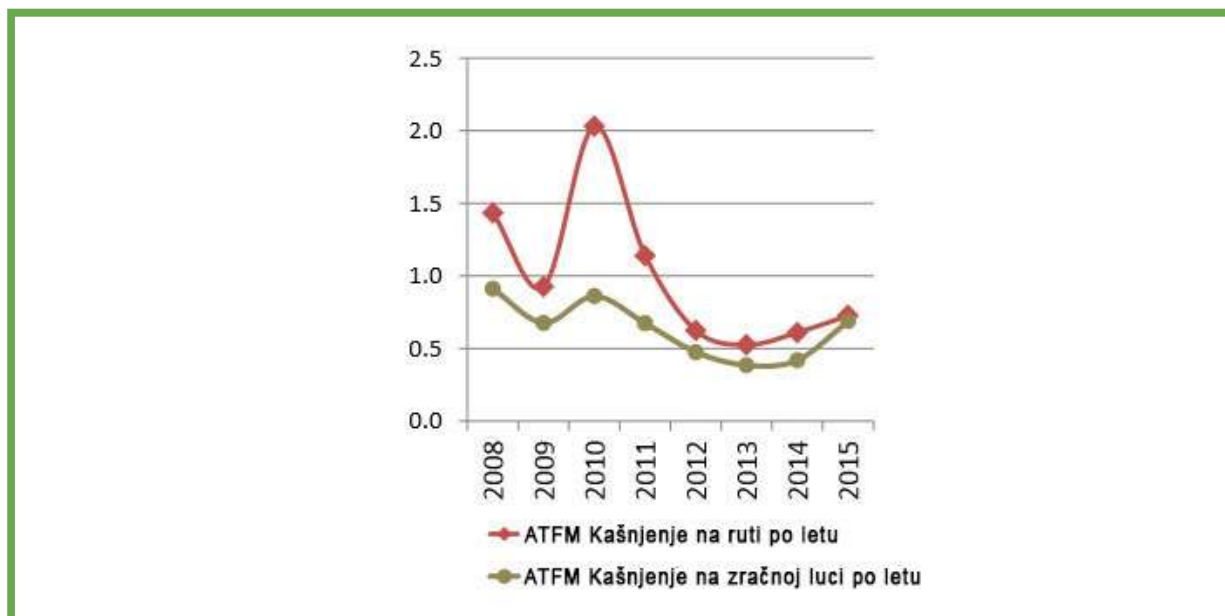


Grafikon 4. - Prosječno ATFM kašnjenje u Europi

Izvor: [5]

Na grafu 5 može se vidjeti godišnja usporedba između ATFM kašnjenja po letu na ruti i ATFM kašnjenja po letu na zračnoj luci kroz raspon od 2008. do 2015. godine.

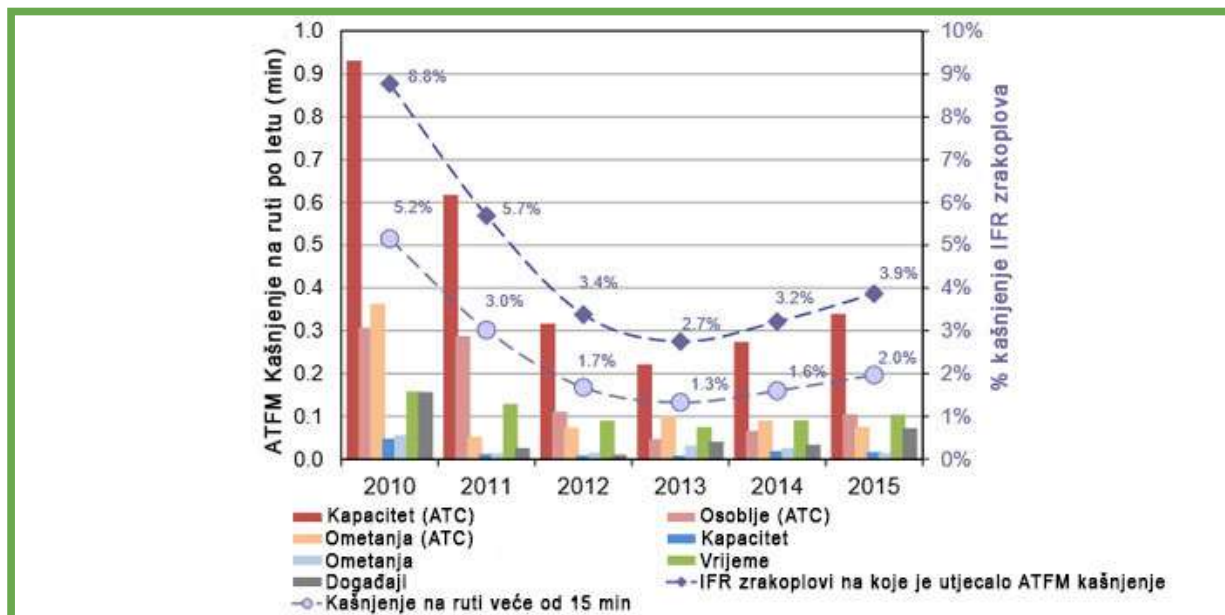
Vrijednosti minuta navedenih ATFM kašnjenja u 2015. godini najviše su se približile, no ATFM kašnjenje na ruti po letu još uvijek je nešto veće od onog na zračnoj luci.



Grafikon 5. - Prosječno ATFM kašnjenje na ruti i zračnoj luci

Izvor: [5]

Najveći udio u ATFM kašnjenju dolazi iz kategorije ATC Kapacitet i iznosi oko 0,34 minute po letu. Na drugom mjestu s oko 0,1 minute po letu je ATM kašnjenje iz kategorije ATC Osoblje. Na trećem mjestu s također 0,1 minute po letu ATM kašnjenje iz grupe Vrijeme. Raspodjela ATM kašnjenja prema kategorijama kašnjenja kroz raspon od 2008. do 2015. godine može se vidjeti na grafu 6. Također, na istom grafu može se vidjeti kretanje postotka ukupnog broja zrakoplova na koje je utjecalo kašnjenje. U 2015. godini kašnjenje je obuhvatilo 3,9 % zrakoplova što je najviše u rasponu od zadnjih tri godine. [5]



Grafikon 6. - Godišnje ATFM kašnjenje po kategorijama kašnjenja

Izvor: [5]

PRR također ističe Nikoziju, Brest, Lisabon, Atena + Makedonija, Zagreb, Reims i Barcelonu kao ACC-e s najviše ostvarenih minuta ATFM kašnjenja. Navedenih 7 ACC-ova ostvarili su 58,1 % ukupnog ATFM kašnjenja u 2015. godini. ACC Zagreb pozicioniran je kao peti po redu ACC s 0,57 minuta ATFM po letu. Nadalje, ACC Zagreb u 2015. godini imao je 61 dan s ATFM kašnjenjem većim od 1 minute. Ako se navedeno kašnjenje usporedi s ukupni kašnjenjem svih ACC-a u cijeloj 2015. godini, od navedenih ACC-a, Zagreb je najbolji s udjelom od 'samo' 4,0 %. [5]

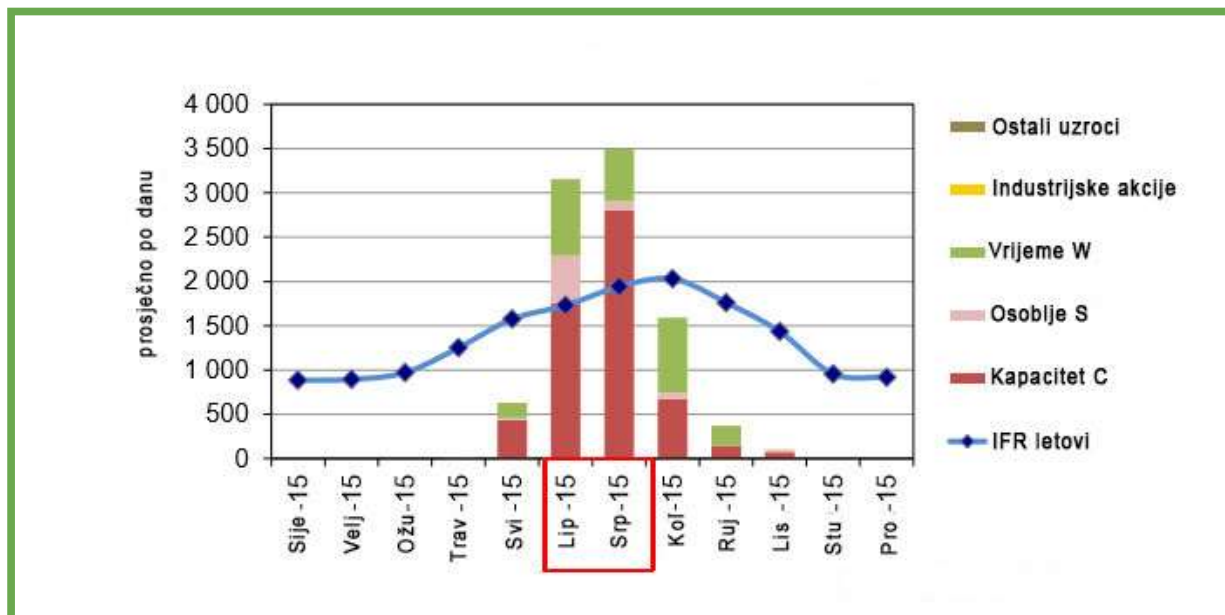
Iz tablice 1 može se vidjeti da na kategoriju ATFM kašnjenja Kapacitet, u ACC Zagreb otpada 71 % cjelokupnog kašnjenja, dok ostalih 29 % otpada na kategoriju Vrijeme.

Tablica 1. - Raspodjela kašnjenja prema ACC-u

Najograničeniji ACC-i u 2015	ATFM kašnjenje na ruti									Traffic demand		
	Days en-route ATFM > 1 min.	En-route delay /flight (min.)	% of flights delayed > 15 min.	En-route delay (000)	Capacity & Staffing (ATC)	Disruptions (ATC)	Weather	All other delay causes	% of total en- route delay	Traffic growth vs 2014 (%)	5 Year Annual average growth rate (10-15)	% of total flight hours 2015
Nicosia	221	2.47	6.9%	787	90%	4%	0%	6%	11.0%	4.8%	2.4%	1.1%
Brest	127	1.41	3.8%	1 305	40%	12%	1%	47%	18.2%	-0.8%	2.6%	3.4%
Lisboa	67	0.51	1.5%	243	83%	6%	1%	10%	3.4%	5.1%	3.3%	2.2%
Athinai+Macedonia	63	0.99	2.8%	680	99%	1%	0%	0%	9.5%	5.4%	1.5%	3.1%
Zagreb	61	0.57	1.7%	286	71%	0%	29%	0%	4.0%	0.8%	3.0%	1.3%
Reims	53	0.55	1.5%	516	62%	24%	14%	1%	7.2%	2.1%	3.8%	1.8%
Barcelona AC+AP	37	0.46	1.3%	350	77%	5%	18%	0%	4.9%	2.1%	0.3%	2.3%

Izvor: [5]

Detaljnije, ACC Zagreb je najveće kašnjenje ostvario u mjesecima Lipnju i Srpnju, iako to nisu mjeseci s najvećim brojem IFR zrakoplova koji prolaze iznad Republike Hrvatske. Iz grafa 7 može se vidjeti da je ATFM kašnjenje kategorizirano kao Kapacitet bilo najveće, dok je drugo po količini minuta kašnjenja bilo iz kategorije Osoblje. Dani u tjednu s najvećim kašnjenjem su Subote, dok je najveće kašnjenje bilo 6. Lipnja s ostvarenih 9353 minuta kašnjenja i 2442 odrađena IFR leta.



Grafikon 7. - Raspodjela kašnjenja po mjesecima u ACC Zagreb

Izvor: [5]

Kašnjenje ponovno ima tendenciju rasta od kojeg je najizraženije ono iz kategorije Kapacitet. Da bi se navedeno kašnjenje smanjilo u sljedećim godinama potrebno je otkriti pravi razlog kašnjenja, te implementirati projekte razvijene kroz projekt SESAR.

3.6. Pregled trenutnog stanja horizontalne efikasnosti leta u Europi

Jedan od načina smanjenja kašnjenja je povećanje horizontalne učinkovitosti leta zrakoplova, tj. smanjiti broj nepotrebnih nautičkih milja koje zrakoplov mora zbog raznih razloga preletjeti da bi došao do željene destinacije. Drugim riječima, povećanje horizontalne efikasnosti leta odnosi se na prilagođavanje rute zrakoplova tako da zrakoplov leti što je izravnije moguće, po ortodromi, od početne točke, do krajnje točke na ruti.

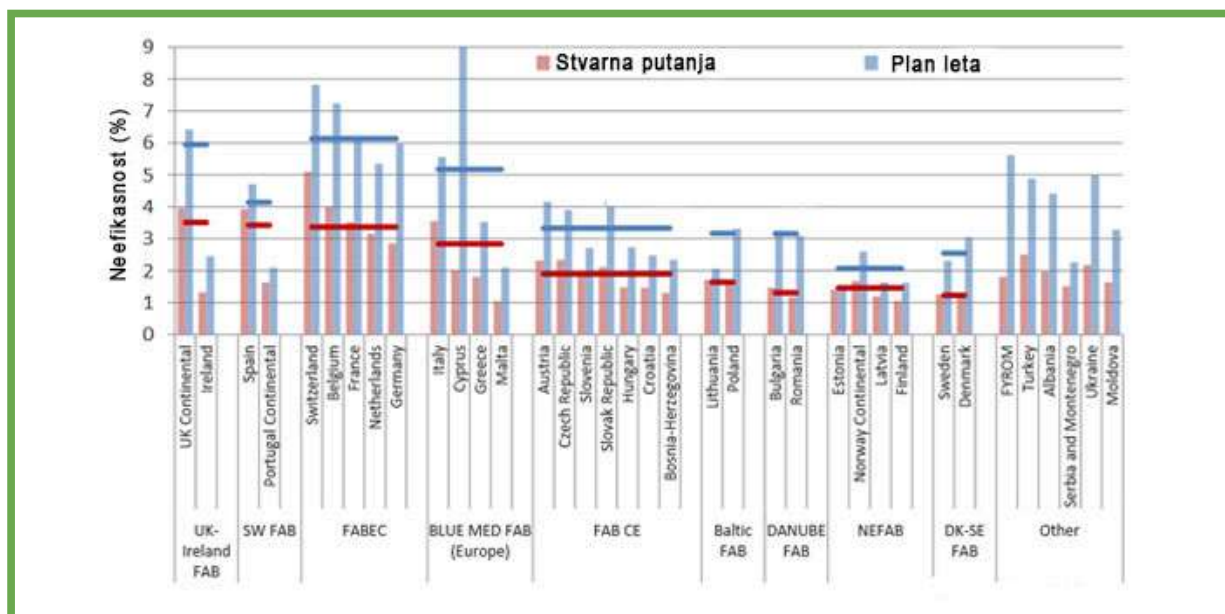
Osim horizontalne učinkovitosti leta postoji i vertikalna učinkovitost leta, no ona relativno malo utječe na kašnjenje, okoliš i ekonomiju, i nije predmet istraživanja ovog Diplomskog rada.

Smanjena horizontalna učinkovitost leta je generalni problem pa ga je potrebno rješavati na široj razini od one na kojoj je svaki pojedini ACC. Osim toga, kao i kašnjenje, te kategorija pokazatelja performansi u kojoj se nalazi, Kapacitet, horizontalna učinkovitost leta bitan je parametar u praćenju kapaciteta zračnog prostora jer utječe na niz drugih pokazatelja kao što su troškovna učinkovitost. Smanjenjem prijednog puta smanjuju se troškovi leta, i utjecaj na okoliš itd.

ATM PRR dokument osim da bi što bolje prikazao trenutnu situaciju ATM-a u Europi prikazuje podatke kroz horizontalnu neučinkovitost. Horizontalna neučinkovitost suprotan je pojam horizontalnoj učinkovitosti.

Nakon kontinuiranog pada od 2010. godine do 2014. godine, horizontalna neučinkovitost putanje iz plana leta, u 2015. godini u odnosu na 2014. godinu, porasla je za 0,04 % na 4,74 %. Horizontalna neučinkovitost stvarne putanje leta porasla je s 2,72 % u 2014. godini na 2,77 % u 2015 godini. Ovaj porast neučinkovitosti očekivan je s obzirom na smanjenje kapaciteta zbog povećanja broja IFR zrakoplova i kompleksnosti zračnog prostora. [5]

Graf 8 prikazuje razinu horizontalne neučinkovitosti prema FAB-u i ACC-u. Iz grafa se može zaključiti da najkompleksniji i najprometniji dio Europe u Ujedinjenom Kraljevstvu i Irskoj s razlogom ima najveću horizontalnu neučinkovitost. Horizontalna neučinkovitost plana leta iznosi oko 6,0 % dok ona stvarna iznosi oko 3,5 %. Drugim riječima, što se može vidjeti iz grafa 8, UK-Ireland FAB koji obuhvaća dva navedena ACC-a, u prosjeku ima horizontalnu neučinkovitost od 3,7 % što znači da u prosjeku svaki let odleti nepotrebnih 11 km.

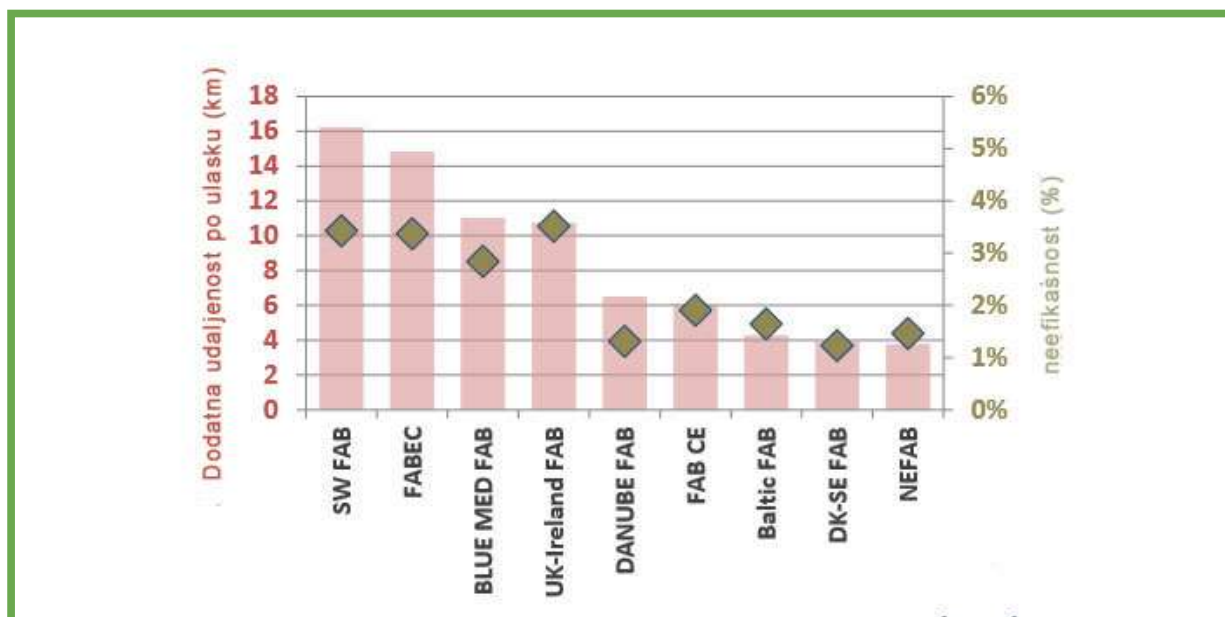


Grafikon 8. - Horizontalna neučinkovitost po FAB-u i ACC-u

Izvor: [5]

Najneučinkovitiji su SW FAB i FABEC koji imaju horizontalnu neučinkovitost od oko 3,1%, dok zrakoplovi koji lete u tom zračnom prostoru prelete nepotrebnih 16 km u SW FAB-u, i 15 km u FABEC-u. [5]

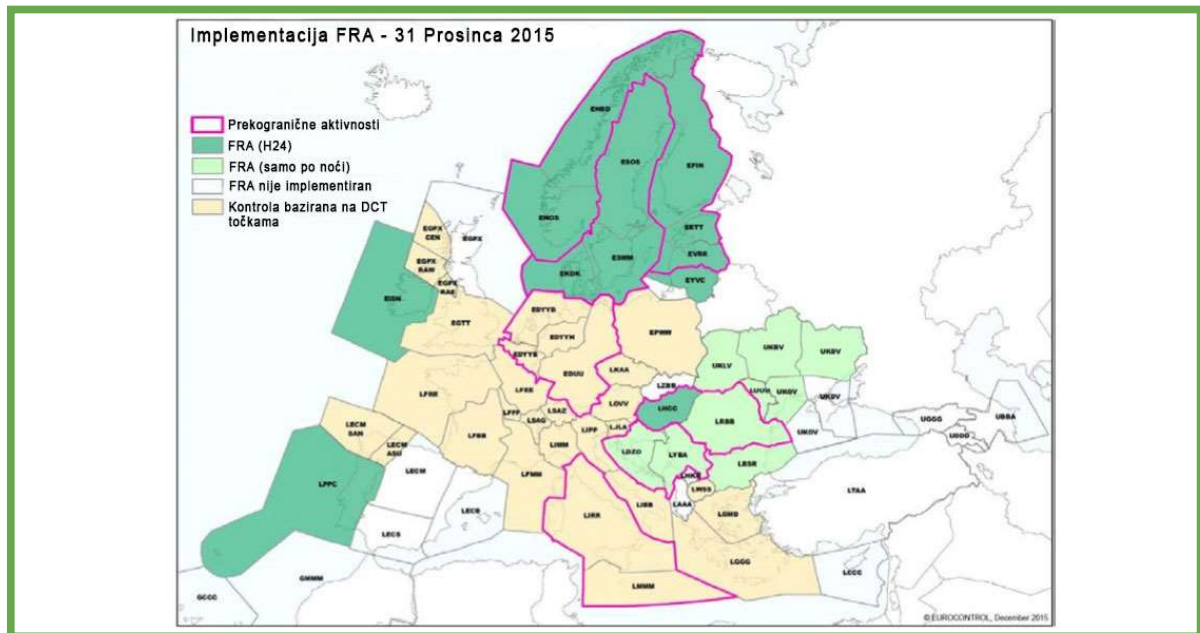
Ako se iz navedenih grafova izvuku podaci za ACC Zagreb, može se vidjeti da je ACC Zagreb, bez obzira na loše stanje po pitanju ATFM kašnjenja, vrlo horizontalno efikasan ACC. Iz grafa 9 može se vidjeti da Hrvatska, tj. ACC Zagreb, ima horizontalnu neučinkovitost ruta iz plana leta od svega 2,4 %, dok je horizontalna učinkovitost stvarne putanje zrakoplova samo 1,5 %. ACC Zagreb je dio FAB-a CE. FAB CE je u sredini po neefikasnosti s 1,9 %. Iz grafa 9 može se vidjeti da u FAB-u CE zrakoplovi prosječno naprave dodatnih nepotrebnih 6 km.



Grafikon 9. - Horizontalna neučinkovitost i dodatni kilometri prijeđeni po FAB-u

Izvor: [5]

Vrlo mala horizontalna neefikasnost ACC-a Zagreb može se djelomično pripisati aktivnom korištenju i noćnoj implementaciji FRA sa susjednom oblasnom kontrolom Beograd. Dodatno smanjenje horizontalne neučinkovitosti očekuje se H24 (0-24 sata) FRA implementacijom između navedenih ACC-a, te širenje FRA na druge ACC-e u regiji. Raspored i način implementacije FRA na dan 31.12.2015. na području članica Eurocontrol-a može se vidjeti iz slike 4.



Slika 4. -. Trenutno stanje implementacije FRA

Izvor: [5]

ATM PRR naglašava da se horizontalna učinkovitost leta izgledno poboljšava vikendima što se može pripisati manjim razinama prometa i u velikoj mjeri korištenja FRA u zemljama članicama koje su ga djelomično ili u potpunosti implementirale. Ističe da je bitno što prije implementirati poboljšanja kao što je FRA, jer s izglednim povećanjem prometa biti će potrebni veći naponi i koordinacija većeg broja jedinica kako bi se implementirala poboljšanja u ATM mreži. Jedan od ključnih poboljšanja za smanjenje kašnjenja, poboljšanja horizontalne učinkovitosti i povećanja kapaciteta je upravo FRA koncept.

U sljedećem poglavlju biti će pojašnjena metodologija koja će se koristiti za određivanje kapaciteta zračnog prostora u istraživanju kroz aplikaciju NEST, te načini za povećanje kapaciteta zračnog prostora.

4. Pregled metodologije za određivanje i mjere povećanja kapaciteta zračnog prostora

Prema operativnom priručniku za upravljanje protokom i kapacitetom zračnog prometa (*eng. Air Traffic Flow and Capacity Management - ATFCM*), ATFCM je usluga poboljšanja ATFM-a koja ima zadatak balansiranja potražnje i kapaciteta optimiziranjem dostupnih resursa i pravovremenom koordinacijom zahtjeva kako bi se unaprijedila kvaliteta usluge i učinkovitost ATM sustava.

Balansiranje ponude i potražnje odvija se i do godinu dana u naprijed kroz 4 ATFCM faze: [10]

- Strateška (do 7 dana prije dana operacije)
- Pred-taktička (od 7 do dana operacije)
- Taktička (na dan operacije)
- Post-operativna (nakon dana operacije).

Da bi svi korisnici bili informirani o prometnoj potražnji, kapacitetima, sezonalnosti i općenitoj ATFCM situaciji, ATFCM se provodi prema planu mrežnih operacija (*eng. Network Operations Plan - NOP*).

Buduća prometna potražnja je poznata iz STATFOR-ovih prognoza prometa, no podatak koji je također bitan je onaj o kapacitetu pojedinog zračnog prostora, tj. sektora. Svak jedinica kontrole zračnog prometa, ima za cilj osigurati dovoljan kapacitet koji će zadovoljiti prognoziranu prometnu potražnju. Da bi NM, Upravitelj mrežom, i ostali sudionici u postupku balansiranja prometne potražnje znali koliko zrakoplova propustiti kroz neki prostor, svaki ACC mora definirati kapacitete svog zračnog prostora, tzv. deklarirani sektorski kapacitet.

Prema Međunarodnoj organizaciji za civilno zrakoplovstvo (*eng. International Civil Aviation Organisation - ICAO*) dokumentu 4444, kapacitet se definira kao broj

zrakoplova koji u nekom trenutku mogu u isto vrijeme biti u nekom zračnom prostoru [11]. Ova definicija odgovarala bi pojmu kapaciteta pojedinog kontrolora zračnog prometa koji trenutno radi na sektoru. Svaki kontrolor ima svoju gornju granicu broja zrakoplova koje može kontrolirati u isto vrijeme u određenom sektoru. Definicija koja bi bliže odgovarala pojmu kapaciteta zračnog prostora je definicija deklariranog kapaciteta koja definira deklarirani kapacitet kao broj zrakoplova koji mogu ući u neki zračni prostor u određenom vremenskom intervalu [12] uzimajući u obzir stanje atmosfere, sektorsku konfiguraciju, osoblje, dostupnu opremu i druge faktore koji mogu utjecati na rad opterećenje kontrolora zračnog prostora. To znači da osobni kapacitet kontrolora ima vrlo veliku ulogu prilikom određivanja deklariranog kapaciteta. Deklarirani kapacitet se najčešće izražava kao broj zrakoplova u nekom prostoru po satu i nerijetko je to najmanji kapacitet kontrolora zračnog prostora koji će biti planiran za rad u tom sektoru.

Kako je deklarirani kapacitet ograničen ljudskim faktorom, tako da čovjek u jednom trenutku može nadzirati ograničen broj zrakoplova, jedini način da se poveća deklarirani kapacitet je povećati protok zrakoplova, poboljšati opremu, optimizirati sektorsku konfiguraciju, a smanjiti kompleksnost. Povećanjem horizontalne učinkovitosti optimiziranjem ruta zrakoplova može se utjecati na dva od navedenih parametara, povećanje protoka i smanjenje kompleksnosti, a to je moguće uvođenjem FRA koncepta u cijelom zračnom prostoru Europe.

4.1. Pregled metodologije za određivanje kapaciteta zračnog prometa

Kako je već navedeno, glavni cilj ATFCM-a je izjednačiti kapacitet i potražnju. Najekonomičnije bi bilo da kapacitet upravo odgovara stvarnoj potražnji, no to u velikoj većini slučajeva nije moguće zbog toga što je potražnja podatak stohastičke prirode i mijenja se iz trenutka u trenutak. Iz navedenoga, da se zaključiti da je potrebno osigurati nešto veći kapacitet od planirane potražnje kako bi se sa sigurnošću mogla uslužiti predviđena potražnja.

Kao i kapacitet, potražnja se također mjeri u broju zrakoplova po satu. Naprimjer, ako se kaže da je potražnja jednaka 50 zrakoplova, to znači da se očekuje ulazak od 50 zrakoplova u neki zračni prostor ili sektor u jednom satu. Prema tome idealna metodologija za određivanje kapaciteta je određivanje maksimalnog broja zrakoplova koji mogu ući u neki zračni prostor u jednom satu.

Svaki pružatelj usluge ATM-a u nekom zračnom prostoru mora osigurati kapacitet potreban da zadovolji predviđenu potražnju. Određivanje kapaciteta pojedinog sektora zračnog prostora u nadležnosti je svakog pojedinog pružatelja usluga koji ga određuje prema informacijama i preporukama Eurocontrol-a. Određivanje kapaciteta nekog zračnog prostora ACC-a dio je procesa planiranja kapaciteta cijele mreže koji odrađuje Upravitelj mrežom.

Proces planiranja kapaciteta mreže prema 'Smjernicama za procjenu i planiranje kapaciteta' odvija se u nekoliko koraka: [13]

1. Procjena performansi za ljetnu sezonu - određivanje osnovice kapaciteta za svaki ACC
2. Pružanje podataka o prometnoj potražnji i raspodjeli
3. Pružanje podataka o profilima potrebnih kapaciteta i kašnjenje po ACC-u
- 4. Pružanje usluge ANSP-ima da lokalno isplaniraju kapacitete**
5. Konsolidiranje kapaciteta u NOP
6. Pružanje podataka o prognozi kašnjenja
7. Identifikacija uskih grla kapaciteta u mreži i način rješavanja istih
8. Pregled plana i prema potrebi ažuriranje podataka o kašnjenju.

Upravitelj mrežom pomaže svakom od ANSP-a tako da im osigurava podatke koje mogu koristiti kako bi isplanirali lokalne kapacitete. Podaci koje Upravitelj mrežom dostavlja su naprimjer, analiza kapaciteta prethodne sezone, STATFOR-ova srednjoročna prognoza prometa, podatke o kašnjenju za niski, srednji i veliki porast

prometne potražnje, podaci o korištenju ruta te predviđanje o korištenju pojedinih ruta i ostale podaci koji eventualno mogu biti korisni u procesu određivanja kapaciteta.

Kapacitet, tj. broj zrakoplova koji mogu proći kroz neki prostor u jednom satu, nekog dijela zračnog prostora određuje se izvođenjem simulacija u programskom okruženju NEST koji će također biti korišten u sljedećem poglavlju istraživanja ovog diplomskog rada. Izvođenje simulacija izvodi se tako da se prethodno identificiraju indikatori koji doprinose povećanju kapaciteta i indikatori koji ograničavaju kapacitet, definiranje načina koji će dovesti do povećanja kapaciteta, opisno i brojivo, te procjena očekivanih rezultata. Podaci prethodne sezone učitaju se u simulaciju i na njima se vrše prethodno planirane izmjene koje će dovesti do poboljšanja kapaciteta.

Novi model zračnog prostora i dobivene rezultate nakon simulacije potrebno je predložiti ekspertima koji mogu procijeniti da li su simulirane vrijednosti kapaciteta zajedno s izmjenama ostvarive u realnom prostoru i da li ih je moguće implementirati u stvarnosti. Po evaluaciji eksperata, da bi se navedene promjene mogle implementirati u stvarnom zračnom prostoru, potrebno je obaviti simulacije u realnom vremenu (*eng. Real Time Simulations - RTS*) s kontrolorima na radnim pozicijama. Dokaže li se kroz simulacije u realnom vremenu da su povećanja kapaciteta u odnosu na promjene koje je potrebno izvršiti optimalna, ANSP zajedno s Upraviteljem mrežom koordinira izmjene u NOP-u. Nakon toga ANSP započinje pružanje usluge uključujući izmjene.

Osim kapaciteta kao broja zrakoplova po satu, određivanje, tj. mjerenje, kapaciteta može se poistovjetiti s drugog gledišta, kao broj minuta kašnjenja po letu u određenom vremenskom intervalu, te kao horizontalna učinkovitost.

ATFM kašnjenje po letu u određenom vremenskom intervalu je bitan podatak u određivanju kapaciteta jer je obuhvaćen definicijom 'efektivnog kapaciteta'. **Efektivni kapacitet** se definira kao volumen zračnog prometa kojeg ATM sustav može podnijeti s određenom količinom prosječnog ATFM kašnjenja. Efektivni kapacitet kao indikator uveden je u PRR-u 5 iz 2001. godine i koristio se u izvještaju o promjeni efektivnog

kapaciteta s promjenom prometne potražnje kroz vrijeme. Također, kao što je već spomenuto, ATFM kašnjenje po letu je ključni pokazatelj za praćenje performansi u kategoriji kapacitet na lokalnoj i mrežnoj razini. Iz navedenih razloga, smatra se da ima veliki utjecaj na kapacitet jer ako je kapacitet dovoljan da opsluži trenutnu potražnju, vjerojatno je da ne će doći do kašnjenja, ili će ono biti manje nego u slučaju kada je kapacitet nedostatan da opsluži trenutnu potražnju. Tada će biti potrebno uvesti regulacije koje će povećati ATFM kašnjenje po letu. Uzimajući u obzir definiciju efektivnog kapaciteta, kapacitet nekog prostora biti će zadovoljen ako ANSP može pružati uslugu s prosječnim kašnjenjem po zrakoplovu manjim od onog definiranog od strane Eurocontrol-a. Ako to nije slučaj, ANSP ima obavezu implementirati promjene za povećanje kapaciteta zračnog prostora.

Horizontalna učinkovitost, iako se ne spominje kao jedan od ključnih pokazatelja učinkovitosti, bitan je podatak koji se koristi u PRR izvješću o promjeni horizontalne učinkovitosti s vremenom za planirane rute iz plana leta i rute koje su zrakoplovi stvarno preletjeli. Maksimalna horizontalna učinkovitost preduvjet je za povećanje kapaciteta jer što su putanje zrakoplova pravocrtnije smanjuje se kompleksnost prometa što omogućuje veći protok prometa, smanjenje kašnjenja i na kraju povećanje kapaciteta zračnog prostora.

U sljedećem dijelu ovog poglavlja biti će predstavljene mjere za povećanje kapaciteta zračnog prostora prema najnovijem SES2+ konceptu iz SESAR kataloga rješenja.

4.2. Mjere povećanja kapaciteta zračnog prometa

SESAR katalog rješenja dokument je SESAR Joint Undertakinga (*SESAR JU*) koji objedinjuje sva rješenja SESAR koncepta na jednom mjestu. Katalog grupira rješenja u četiri tematske skupine: [14]

1. Aerodromske operacije velikih performansi

2. Napredne usluge kontrole zračnog prometa

3. Optimizirane ATM mrežne usluge

4. Omogućavanje zrakoplovne infrastrukture.

U ovom dijelu rada ukratko će biti objašnjena rješenja koja će dovesti povećanje kapaciteta rutnog dijela zračnog prostora, i protoka, a smanjenje ATFCM kašnjenja i kompleksnosti. Navedena rješenja u katalogu SESAR rješenja grupirana su u tematske skupine Napredne usluge kontrole zračnog prometa i Optimizirane ATM mrežne usluge.

Neka od rješenja vezana za temu ovog Diplomskog rada za koja SESAR JU smatra da će osigurati povećanje kapaciteta rutnog dijela zračnog prostora iz kataloga SESAR rješenja su: [14]

1. Optimizirana rutna mreža korištenjem sustava na zrakoplovu koje ima mogućnost mjerenja stanja učinkovitosti i uzbunjivanja (*eng. Required Navigation Performance - RNP*)
2. Kontrolirano vrijeme dolaska (*eng. Controlled Time of Arrival - CTA*) u srednje gustoj/srednje kompleksnoj okolini
3. Aplikacije za razdvajanje pomoć pri razdavanju zrakoplova 'Ostani iza' i 'Spoji se iza' (*eng. Airborne Separation Assistance System - ASAS*)
4. Sektorske timske operacije - organizator prometa na ruti
5. Multi-sektorsko planiranje
6. Alati za detekciju konflikata na srednjoj razini (*eng. Medium Term Conflict Detection - MTCD*) i alati za mjerenje sukladnosti
7. Unaprijeđeno uzbunjivanje kasnih konflikata (*eng. Short Term Conflict Alert - STCA*)
8. Unaprijeđeni sustavi za izbjegavanje sudara u zraku (*eng. Airborne Collision Avoidance System - ACAS*)
9. Automatska dinamička sektorizacija zračnog prostora
10. Napredno korištenje FUA-e
11. Alati za automatsku detekciju i rješavanje kompleksnih situacija

12. Rute po željama korisnika

13. Slobodne rute korištenjem direktnog usmjeravanja

14. Slobodno rutiranje letova u srednje gustoj okolini u cijelom području Europe.

4.2.1. Optimizirana rutna korištenjem RNP-a

Zrakoplovi koji koriste RNP opremljeni su opremom za praćenje i upozoravanje prilikom navigacije koja kontinuirano prati da li je pozicija zrakoplova koju pokazuje navigacijski sustav u skladu s zahtijevanom točnošću. Pokazivanje pozicije zrakoplova koji lete po napredni RNP (*eng. Advanced Required Navigation Performance - A-RNP*) dovoljno je točno da se sa sigurnošću može tvrditi da se nalaze 1 NM lijevo ili desno od rute na kojoj lete. Ovakva točnost omogućila bi kontrolorima veću sigurnost prilikom kontroliranja takvih zrakoplova. Nadalje, povećao bi se kapacitet zračnog prostora jer bi isti zračni prostor mogao prihvatiti veći broj ruta jer bi zračni putevi zbog veće navigacijske točnosti bili uži.

4.2.2. Kontrolirano vrijeme dolaska u srednje gustoj/srednje kompleksnoj okolini

Kontrolirano vrijeme dolaska dodijeljeno zrakoplovu od strane kontrole zračne plovidbe omogućilo bi zrakoplovima da samostalno kontroliraju brzinu leta na ruti po proizvoljnim zahtjevima tako da na traženu točku za prilaz dođu u zahtijevano vrijeme. Sustavi trenutno ne mogu izračunati individualne preference svake kompanije pa bi tako da svaki zrakoplov optimizacijom svog leta dodatno štedio na gorivu uzimajući u obzir ATM sustav i kapacitet mreže u cjelini.

Ovim rješenjem bi se usko grlo kapaciteta u prilazu otklonilo jer bi kontrolor na poziciji već u startu dobio razdvojene zrakoplove po vremenu koje bi sustavno trebao usmjeriti u prilaz kroz napredne prilazne sustave.

4.2.3. ASAS aplikacije za razdvajanje 'Ostani iza' i 'Spoji se iza'

Napredni sustavi za razdvajanje koji bi se nalazili u zrakoplovu omogućili bi zrakoplovima da primaju instrukcije od kontrolora da prate zrakoplov ispred i ostanu iza njega u razmaku od 90 sekundi. Takav način izdavanja naredbi smanjio bi nepotrebnu komunikaciju na vrlo zagušenoj frekvenciji jer kontrolori ne bi trebali izdavati više naredbi brzine da bi osigurali zahtijevanu separaciju između dva ili više zrakoplova. Sustav bi bio sposoban na znak pilota samostalno odrađivati vremenske naredbe koje zadaje kontrola letenja.

Razdvajanje po vremenu uštedjelo bi vrijeme koje kontrolori troše za davanje instrukcija što bi osiguralo smanjenje kompleksnosti i povećanje kapaciteta pojedinog kontrolora u nekom zračnom prostoru.

4.2.4. Sektorske timske operacije - organizator prometa na ruti

Konstantan porast prometa 1980-ih godina potaknuo je razvoj koncepta organizatora prometa na ruti dizajnom elektronskih alata za pomoć pri donošenju odluka. Tako se kontrolorima oslobađaju mentalni resursi koji se koriste glavne zadatke kao što je rješavanje konflikata, tj. razdvajanje zrakoplova.

Ovim unaprjeđenjem kontrolori će moći projicirati buduće pozicije zrakoplova na ekranu, zasjeniti promet koji im nije konfliktan, postaviti geografske markere na mjesta na kojima sa zrakoplovom moraju nešto napraviti, te aktivirati druge napredne mogućnosti koje će smanjiti potrebne mentalne resurse kako bi se kontrolori mogli baviti konfliktnim situacijama. Kontrolori će u prostorima s gustim prometom biti puno efikasniji tako da dovoljno unaprijed predvide i riješe konflikte na još sigurniji način.

4.2.5. Multi-sektorsko planiranje

Ovo poboljšanje odnosi se na kontrolora planera, koji će u budućnosti moći planirati promet u više od jednog sektora. To će biti moguće zbog novih alata koji će biti dostupni u sustavu. Novi alati omogućiti će kontroloru planeru da lakše donosi odluke i planira promet koristeći opcije 'što-ako' ili 'pregledaj-vidi'. Planer kontrolor postati će fleksibilniji i sigurniji u donošenju odluka jer će sustavi osigurati pregled situacija koje će se dogoditi u budućnosti.

Danas, veliki problem u ANSP-ima je manjak radne snage, pa će na ovaj način doći do smanjenja broja aktivnih kontrolora na sektorima jer će jedan planer kontrolor imati dovoljne resurse da radi na više sektora u isto vrijeme.

4.2.6. MTCD alati i alati za mjerenje sukladnosti

Napredni alati za rano otkrivanje konflikata su ključ u ostvarivanju ciljeva performansi SES-a, povećanje kapaciteta za tri puta i povećanje sigurnosti. Rano otkrivanje i rješavanje konflikata osigurati će više vremena kroz smanjenu potrebu za interakciju kontrolora i zrakoplova.

Ovakvi napredni sustavi znatno bi povećali produktivnost rada jer bi imali mogućnost otkrivanja konflikata između svih zrakoplova u zračnom prostoru do 20 minuta unaprijed. Sustav će se temeljiti na organizaciji raspodjele zadataka i 4-D pozicioniranju zrakoplova i njihovoj međusobnoj interakciji.

4.2.7. Unaprijeđeni STCA

Zrakoplovi su već opremljeni transponderima moda S koji parametre leta u realnom vremenu šalju u sustave ANSP-a. Unaprijeđeni STCA sustavi iskoristiti će dva podatka, selektiranu razinu leta (*eng. Flight Level - FL*) i podatak o brzini promjene kuta kretanja. Koristeći navedene podatke sustav će prije nego što zrakoplov započne promjenu razine leta upozoriti kontrolora na radnoj poziciji da mora reagirati instrukcijom zaustavljanja promjene razine leta. Na ovaj način puno prije spriječiti će se greška

kontrolora izdavanja krive naredbe ili greška u komunikaciji na frekvenciji. Nadalje, povjerenje kontrolora u sustave će se povećati kako bi se dodatno rasteretili mentalni resursi koji se sada koriste za praćenje i sprječavanje ovakvih situacija.

4.2.8. Unaprijeđeni ACAS sustavi

ACAS sustav funkcionira tako da upozorava posade zrakoplova ako postoji potencijalna šansa da u skoroj budućnosti dođe do sudara. Sustavi dvaju zrakoplova međusobno komuniciraju informacijama uspoređujući razine leta i brzine promjene visine. Trenutni sustavi zbog sigurnosnih zahtjeva su podešeni tako da se u mnogo slučajeva okine upozorenje o potencijalnom sudaru zrakoplova iako nema potrebe za upozorenjem. To se najčešće događa u trenucima kada se zrakoplov približava zadanoj razini leta velikom vertikalnom brzinom što sustav može krivo protumačiti. Zbog ovog problema preporuka ICAO-a je da zrakoplovi prilaze zadanoj razini leta sporijom vertikalnom brzinom.

Napredni ACAS sustav, razvijen kroz SESAR projekt, anulirao bi ovaj problem, no ne bi degradirao funkcionalnost sustava i smanjenje razine sigurnosti. Također, osim trenutnog korištenja isključivo u vertikalnim konfliktnim situacijama između dva zrakoplova, sustav bi se mogao koristiti između više potencijalno ugroženih zrakoplova u istom trenutku, te bi mogao izdavati naredbe promjene visine i skretanja.

4.2.9. Automatska dinamička sektorizacija zračnog prostora

Trenutni sustavi mogu predvidjeti veliku gustoću prometa, no ne postoji alat koji bi dao rješenje u takvim situacijama. U nekim dijelovima zračnog prostora je vrhunac gustoće prometa i nedostatak kapaciteta, dok u drugim dijelovima postoji višak kapaciteta. Trenutno sektorizaciju nekog prostora uz pomoć jednostavnih alata i prijašnjeg iskustva određuje šef smjene operativnog centra kontrole zračne plovidbe.

Sustav dinamičke sektorizacija teži povećati performanse kontrole zračne plovidbe automatiziranjem sustava sektorizacije i prebacivanjem donošenja odluka o sektorizaciji na napredne algoritme. Sustav će korištenjem podataka o letovima, planiranim i stvarnim, lokalnim ograničenjima, izvanrednim događajima i situaciji na aerodromima biti u stanju evaluirati sektorske konfiguracije i preporučiti onu optimalnu.

Testiranje sustava dinamičke sektorizacije pokazalo je povećanje kapaciteta u situacijama velike gustoće prometa od 10 % i smanjenje letova s kašnjenjem od 5 %.

4.2.10. Napredno korištenje FUA-e (eng. *Flexible Use of Airspace*)

Intenzivnije korištenje FUA koncepta u praksi omogućiti će korištenje zračnog prostora na dinamičkoj bazi što znači da će cijeli zračni prostor predviđen za vojne operacije biti slobodan za korištenje u civilne svrhe dok ga vojska ne koristi. Bolja koordinacija između vojnih i civilnih operacija znatno će doprinijeti povećanju kapaciteta u trenucima povećane gustoće prometa. U takvim trenucima, malo povećanje kapaciteta znatno će doprinijeti povećanju performansi zračnog prostora da bi se u konačnici smanjila kompleksnost zračnog prostora, povećala horizontalna učinkovitost letova, te smanjilo prosječno vrijeme kašnjenja po zrakoplovu. Nije nužno da prostor mora biti rezerviran za korištenje korisnicima kada ga ne koriste, već će se svakom korisniku omogućiti korištenje zračnog prostora po potrebi u optimalnim vremenskim intervalima.

4.2.11. Alati za automatsku detekciju i rješavanje kompleksnih situacija

Danas, planiranje prometa kroz zračni prostor ANSP-a vrši se na temelju predanih planova leta od strane zrakoplovnih kompanija. Vrijeme kada su podaci o planovima leta bili dostatni za kvalitetno planiranje prometa je prošlo, stoga je potrebno kroz suvremene alate osigurati pravovremene ažurirane podatke o prometu. Prometna situacija je dinamična i zbog raznih faktora se mijenja iz minute u minutu pa bi ovaj sustav omogućio smanjenje kompleksnosti i povećanje kapaciteta opskrbljujući FMP-e

kvalitetnim pravovremenim informacijama kako bi mogli donesti pravodobne odluke o prometu. Sustavi ovakve prirode se ne oslanjaju na podatke iz jednog, već više različitih izvora koji će osigurati predvidljiviju prometnu situaciju i napredno donošenje odluka o prometu koji treba proći kroz neki ACC.

4.2.12. Rute po željama korisnika (uvod u FRA)

Trenutno, korisnici planiraju letenje po objavljenoj rutnoj mreži i rutama koje su dizajnirane između definiranih navigacijskih točaka. Na navedeni način, korisnici moraju letjeti po rutama koje se u većini slučajeva ne poklapaju s idealnom putanjom koja odgovara svakom pojedinom korisniku.

Iako postoje rješenja koja na operativnom nivou, na dan operacija, na razne načine smanjuju razlike između optimalnih i planiranih ruta, ovo rješenje bi na nivou dizajna i planiranja omogućilo korisnicima da unutar jednog prostora lete baš onako kako oni to žele. Kao što se iz naslova može zaključiti, sustav je uvod u FRA koncept, jer u ovakvom obliku nije razvijen da osigurava potpuno slobodno planiranje leta od početne do krajnje točke na ruti, već samo unutar prostora u nadležnosti jednog ACC-a. Ovo rješenje bi uz asistenciju pri planiranju leta operaterima, uzimajući u obzir vjetrove, turbulencije, situaciju atmosfere i dr., zasigurno povećalo horizontalnu učinkovitost što bi osiguralo smanjenje kompleksnosti, smanjenje ATFCM kašnjenja i povećanje kapaciteta zračnog prostora.

4.2.13. Slobodne rute korištenjem direktnog usmjeravanja (djelomični FRA koncept)

S trenutnim sustavom mrežnog letenja i planiranja leta od točke do točke, zrakoplovi u prosjeku prijeđu 20 km udaljenosti više u odnosu na duljinu kada bi letjeli direktno od prve do krajnje točke na ruti, po ortodromi. Ovo rješenje nastavak je na prethodno, 'Rute po željama korisnika', što približava planiranje leta potpunom FRA konceptu. Osim unutar zračnog prostora jednog ACC-a, uvođenjem ovog rješenja u

praksu, korisnici bi mogli planirati direktnije rute između bilo kojih točaka na ruti. Korisnici bi svoje rute mogli planirati direktno između krajnje i početne točke na ruti, ili između točaka na dijelu rute ili pak između bilo kojih od objavljenih točaka u mreži ovisno o svojim preferencijama.

Ovakav način planiranja i letenja trenutno nije moguć jer svi pružatelji usluga moraju uskladiti svoje sustave, te se prilagoditi traženim zahtjevima ovog koncepta. S vremenom kako se ANSP-i budu usklađivali ovo će biti moguće što će znatno smanjiti kompleksnost zračnog prostora jer će korisnici letjeti direktnijim rutama. Nadalje očekuje se da će se povećati horizontalna učinkovitost što znači da će korisnici letjeti rutama koje se još više poklapaju s ortodromskom udaljenosti između početne i krajnje točke na ruti. Ovaj koncept i benefiti njegove implementacije na području ECAC regije biti će detaljnije istraženi kroz simulacije prometa u sljedećem poglavlju ovoga rada.

4.2.14. Slobodno rutiranje letova u srednje gustoj okolini u cijelom području Europe (potpuni FRA koncept)

Ovo rješenje potpunog FRA koncepta, kao nadogradnja na prethodna dva rješenja, omogućiti će korisnicima da planiraju svoje letove, slobodno, bez obzira na položaj objavljenih navigacijskih točaka u rutnoj mreži. Nadalje, korisnici će moći letjeti kroz zračni prostor Europe bez obzira na objavljene zračne puteve unutar rutne mreže. Rješenje slobodnog planiranja ruta unutar zračnog prostora Europe, u kombinaciji s naprednim FUA konceptom, omogućiti će fleksibilnost u planiranju i optimiziranju letenja operatora zrakoplova dok će istovremenom vojska imati veliku fleksibilnost u rezervaciji zračnog prostora za svoje aktivnosti.

Ovakva vrlo kompleksna rješenja koja implementacijom zahvaćaju veliki dio zračnog prostora, više ANSP-a, te mnoštvo drugih korisnika, potrebno je pomno isplanirati. Osim samog plana implementacije, bitno je sve do detalja testirati kako u praksi ne bi došlo do neplaniranih, neželjenih, posljedica za cjelokupno zrakoplovstvo. Prije testiranja potrebno je dokazati kakve prednosti ovakva kompleksna rješenja

svojom implementacijom donose kako bi se prednosti analizirati. Na temelju provedenih znanstvenih istraživanja i analiza može se donesti odluka o načinima implementacije.

5. Primjena aplikacije NEST u istraživanju utjecaja kapaciteta zračnog prostora na učinkovitost ATM-a

Izmjena kapaciteta nekog zračnog prostora opsežan je postupak kojem, kao što je opisano u prethodnom poglavlju, prethodi mnogo istraživanja, analiza i simulacija prije nego li promjena stupi na snagu i primjeni se u stvarnom prostoru. Do potrebe za promjenom kapaciteta najčešće dolazi zbog povećanja potražnje zračnog prometa ili utjecaja izvanrednih situacija kao što je degradacija vremenskih uvjeta. Stoga je potrebno povećanjem kapaciteta osigurati zahtijevanu razinu svakog od indikatora performansi ATM-a. Prvenstveno se to odnosi na zahtijevanu razinu sigurnosti i kašnjenja, a nakon toga, i ostalih indikatora kao što su kašnjenje, operativna učinkovitost, zaštita, horizontalna učinkovitost itd.

Da bi se istražio utjecaj promjene kapaciteta nekog dijela zračnog prostora na indikatore učinkovitosti ATM-a (osim indikatora učinkovitosti Kašnjenje), zbog ograničenja NEST aplikacija, potrebno je specificirati indirektnu promjenu koja će indirektno simulirati promjenu kapaciteta. **Inicijator promjene je neki događaj ili promjena u sustavu čija izmjena ima direktan utjecaj na promjenu neke druge varijable u sustavu koja nije direktno promijenjena** U prvom scenariju ovog istraživanja, inicijator promjene kapaciteta je smanjenje volumena kontroliranog zračnog prostora. Potreba za specificiranjem događaja, tj. inicijatora promjene dolazi zato što NEST aplikacija ima ograničenja pri simuliranju scenarija promjene parametra zračnog prostora kao što je kapacitet, već je potrebno detaljnije specificirati uzrok promjene koji će simulacijama prikazati indirektan utjecaj na drugu varijablu, kapacitet. Smanjenjem kapaciteta preko promjene volumena zračnog prostora prikazati će se utjecaj promjene kapaciteta na indikatore učinkovitosti ATM-a (osim indikatora učinkovitosti Kašnjenje).

Za podatak o utjecaju direktne promjene kapaciteta na ATFM kašnjenje nije potrebno definirati inicijatora promjene, već je potrebno izmijeniti vrijednosti kapaciteta na sektorima, te pokrenuti kombinaciju simulacija **regulacija** i simulacija **kašnjenja** koje

na temelju prometne potražnje, otvaranja sektora i deklariranih (izmijenjenih) sektorskih kapaciteta simuliraju aktivaciju regulacija, koje generiraju simulirana kašnjenja.

5.1. Mogućnosti i ograničenja NEST aplikacije

Alat za strateško mrežno planiranje (*eng. Network Strategic Tool - NEST*) je aplikacija Eurocontrol-a namijenjena za planiranje kapaciteta i dizajn zračnog prostora. NEST je nastao spajanjem dviju aplikacija, aplikacije za dodjeljivanje i analizu prometa na mikroskopskoj razini (*eng. System for Traffic Assignment and Analysis at a Macroscopic level - SAAM*) i aplikacije za procjenu i vizualizaciju kapaciteta ACC-a (*eng. Network Estimation & Visualization of ACC Capacity - NEVAC*).

NEST aplikacija omogućava obradu stvarnih podataka iz prošlosti, te njihovo izmjenjivanje. Izmjenjivanjem podataka izrađuje se novi scenarij koji se može simulirati. Rezultati simulacije uspoređuju se direktno unutar aplikacije učitavanjem originalnog i simuliranog scenarija u isto vrijeme ili putem posebnih analiza koje su dostupne kroz aplikaciju učitavanjem prethodno spremljenih podataka simuliranog i originalnog scenarija.

Neke od mogućnosti koje pruža NEST su sljedeće: [15]

- Procjena kapaciteta ACC-a
- Procjena prednosti koje donose implementacije novih mjera unutar ACC-a
- Simuliranje privremenog smanjenje kapaciteta i njegov utjecaj
- Optimiziranje sheme otvaranja sektora na temelju lokalnih ograničenja
- Simuliranje rasta prometne potražnje u sektorima
- Utvrđivanje uskih grla kapaciteta
- Izračunavanje osnovne vrijednosti kapaciteta ACC-a
- Generiranje buduće prometne potražnje
- Optimiziranje sheme otvaranja konfiguracije ACC-a

- Usporedba scenarija planiranja pomoću ugrađenih ATFM simulacijskih mogućnosti
- Proučavanje opcija reorganizacije zračnog prostora pomoću virtualnih ACC-a
- Vizualizacija distribucije opterećenja, zasićenosti, složenosti i analiza prometa
- Simuliranje degradiranih operativnih scenarija sa smanjenim kapacitetom
- Pregledavanje i uređivanje podataka o okolišu i prometu
- Grupiranje letova definiranjem detaljnih prilagođenih tokova prometa
- Simuliranje mrežnih efekata.

NEST je aplikacija koja se bazira na izradi modela nekog zračnog prostora izmjenom originalnog scenarija koji sadrži povijesne podatke zračnog prostora cijele ECAC regije. Izmjene se mogu simulirati, a dobiveni rezultati analizirati, a potom uspoređivati sa stvarnim originalnim, scenarijem. Usporedba simulacije i originalnog scenarija otkriva da li su izmjene povećale ili pak smanjile efikasnost zračnog prostora.

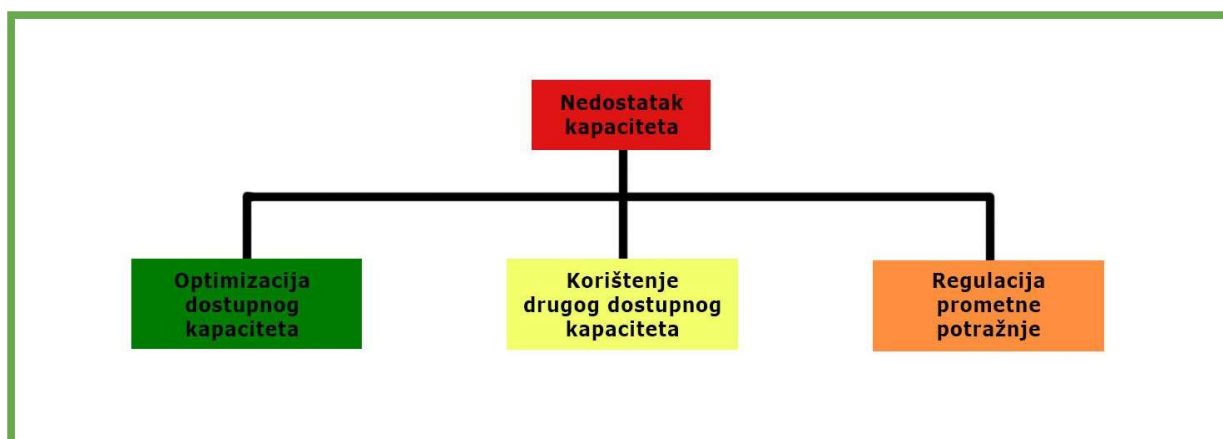
Ovakav sofisticirani alat omogućava brzo testiranje ideja za povećanje efikasnosti zračnog prostora kako bi se u vrlo kratkom periodu, uz vrlo male troškove, mogla pronaći rješenja koja će se dodatno obrađivati. Simulacije scenarija aplikacije NEST ne mogu u potpunosti prikazati kako će se promjene ponašati u stvarnom okruženju, no dovoljno je sofisticirani za korištenje za potrebe početnog istraživanja, strateškog planiranja i vizualizacije podataka.

5.2. Metodologija istraživanja

Prema ATFCM operativnom priručniku postoje tri načina optimizacije u slučaju nedostatka kapaciteta. Iz slike 5 može se vidjeti da ATFCM operativni priručnik rješavanje problema nedostatka kapaciteta dijeli na: [10]

1. Optimizaciju korištenja preostalog kapaciteta
2. Korištenje drugog dostupnog kapaciteta
3. Potreba za aktivacijom regulacija prometne potražnje.

Simulacije u ovom istraživanju bave se drugim rješenjem, “Korištenje drugog dostupnog kapaciteta”, i trećim rješenjem, “Potreba za aktivacijom regulacija prometne potražnje”.



Slika 5. - Rješavanje problema nedostatka kapaciteta od strane FMP-a

Izvor: [10]

5.3. Grupa simulacija 1 - Smanjenje kapaciteta isključenjem dijela zračnog prostora

Prva grupa simulacija bavi se problemom rješavanja nedostatka kapaciteta uporabom drugog dostupnog kapaciteta. U ovoj simulaciji prikazati će se utjecaj promjene kapaciteta zračnog prostora na ATM indikatore učinkovitosti korištenjem drugog dostupnog kapaciteta tako da će se smanjenje kapaciteta očitovati simulacijom tri scenarija u kojima će u svakom biti isključivan različit volumen kontroliranog zračnog prostora. Simulirani scenariji uspoređivati će se s originalnim simuliranim scenarijem (referentnim scenarijem) i to, dodatna potrošnja goriva, ispuštanje CO₂ i dušičnih oksida (*eng. Nitrous Oxide - NO_x*) u atmosferu, prijedene nautičke milje i vrijeme leta.

U prvom simuliranom scenariju biti će prikazan utjecaj isključenja manjeg sektora na pokazatelje učinkovitosti, u drugom scenariju utjecaj isključenja većeg sektora (LDZOW) i u trećem scenariju utjecaj isključenja cijelog FIR-a Zagreb. Navedena područja će biti isključena u vremenskom periodu od 0 do 24 sata na dan 30.7.2016, koji je jedan od najprometnijih dana u ACC-u Zagreb u 2016. godini. U sva tri simulirana scenarija biti će biti simulirano povećanje zračnog prometa po osnovnoj prognozi STATFOR-a za 2022. godinu. Za usporedbu parametara pojedinog simuliranog scenarija sa simulacijom referentnog scenarija koristiti će se analiza NEST-a, *Scenario economy*.

Simulacija referentnog scenarija u kojem se simuliraju trajektorije toka prometa kroz cijeli ACC Zagreb bez simulacije zona isključenja, potrebna je kako bi se na kraju rezultati mogli uspoređivati *Scenario economy* analizom NEST-a. Nakon toga, zadržavajući iste parametre referentnog scenarija, u simulirane scenarije će biti uključene zone isključenja. Nakon uključivanja zona isključenja u svaki novi scenarij, potrebno je ponoviti simulacije trajektorija nakon čega će trajektorije ponovno biti proračunate za nove uvijete s aktiviranim zonama isključenja. Izvozom rezultata pojedine simulacije u “.so6” formatu biti će dobiven set podataka spreman za usporedbu analizom *Scenario economy*. Prije i nakon analize potrebno je izvršiti neke prilagodbe koje se mogu vidjeti u detaljnom postupku, a osigurati će da generalni proces simulacija bude racionaliziran, brz i efikasan.

Detaljni postupak simulacije svakog od scenarija po koracima je sljedeći:

1. Učitavanje originalnog NEST scenarija
2. Kreiranje željenog toka prometa
3. Simulacija buduće prometne potražnje
4. Izrada zone isključenja (ne koristi se u simulaciji referentnog scenarija)
5. Simulacija putanja zrakoplova
6. Spremanje scenarija

7. Spremanje podataka za usporedbu.

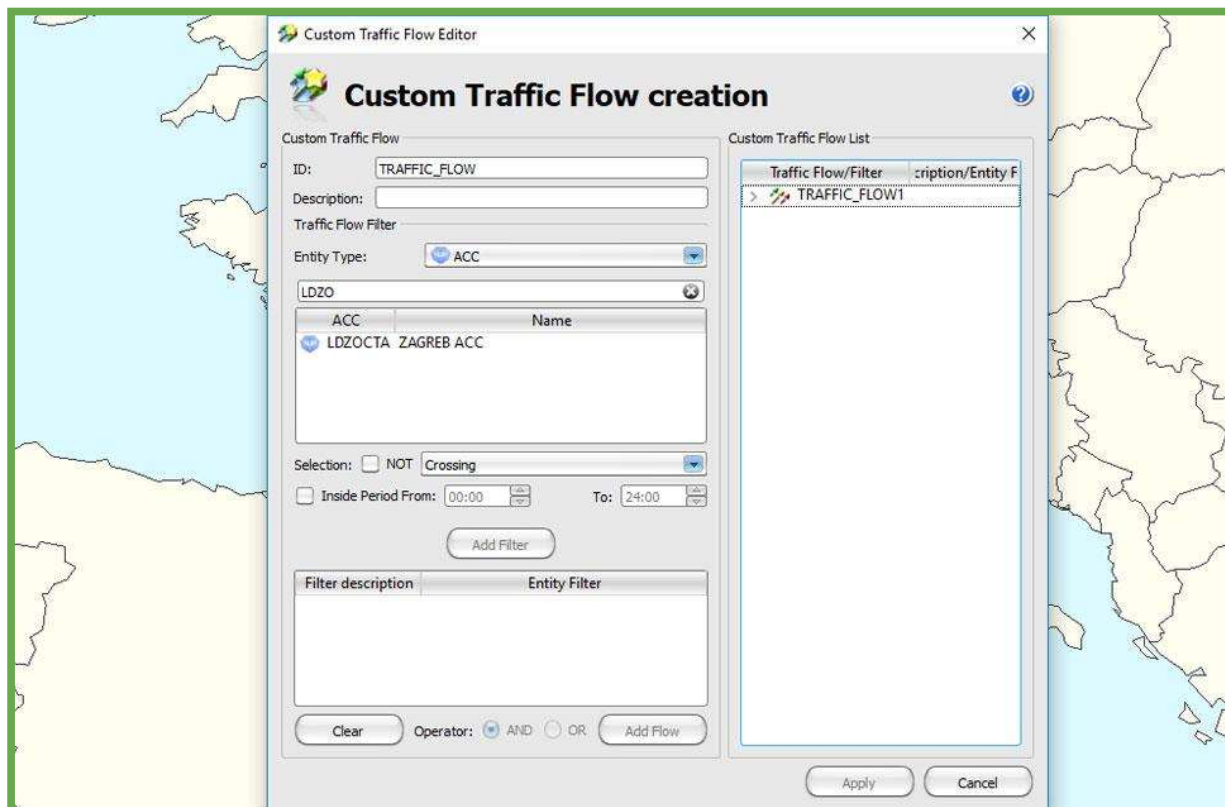
Postupak prve grupe simulacija može se vidjeti na dijagramu toka u prilogu 1.

5.3.1. Učitavanje originalnog NEST scenarija

Podaci na kojima se temelji ovo istraživanje su podaci iz sustava regulacije i kontrole zrakoplovnih informacija (*eng. Aeronautical Information Regulation and Control - AIRAC*) 1608. Potrebno je učitati navedeni set podataka i odabrati datum 30.7.2016. Odabran je navedeni datum zato što je to jedan od najprometnijih dana ACC-a Zagreb u 2016. godini, pa ako potražnja bude zadovoljena za najprometniji dan, potražnja drugih manje prometnih dana bi također trebala biti zadovoljena.

5.3.2. Kreiranje željenog toka prometa (filtriranje prometa)

U ovom koraku ograničava se tok prometa samo na zrakoplove koji se kreću unutar ACC Zagreb. Ovaj korak je bitan zato što se želi smanjiti vrijeme procesuiranja aplikacije. Zbog toga, aplikacija u koraku simulacija trajektorija neće simulirati putanje svih zrakoplova već samo onih zahvaćenih kreiranim protokom, koji se kreću preko (*eng. overflight*) ACC-a Zagreb. Također, u analizi *Scenario economy* uspoređivati će se samo efikasnost zrakoplova koji se inicijalno u originalnom scenariju kreću preko ACC-a Zagreb, te zrakoplova koji budu generirani od strane NEST aplikacije zbog simulacije buduće prometne potražnje. Način kreiranja željenog protoka prometa u aplikaciji NEST može se vidjeti iz slike 6.

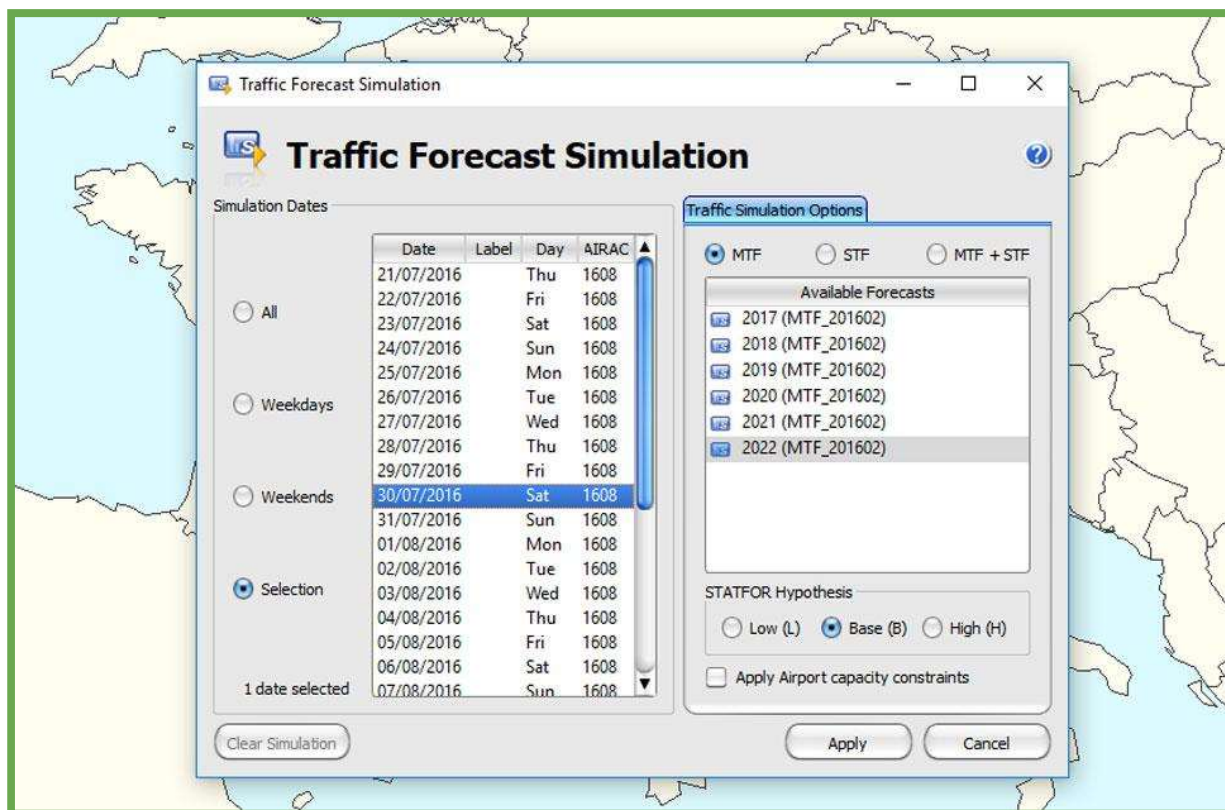


Slika 6. - Kreiranje željenog toka prometa

Izvor: [7]

5.3.3. Simulacija buduće prometne potražnje

NEST omogućuje simulaciju buduće prometne potražnje po STAFOR-u. Prema tome, kako bi se prikazao utjecaj povećanja prometne potražnje na rezultate istraživanja, biti će simulirana prometna potražnja prema osnovnom scenariju srednjoročne prognoze STAFOR-a za 2022. godinu na dan 30.7.2016. Simuliranje prometne potražnje izvodi se podešavanjem parametara simulacije NEST-a, *Simulate traffic forecast*, što se može vidjeti iz slike 7. S obzirom na to da će se vjerojatno kapaciteti aerodroma do 2022. godine povećavati, opcija ograničenja prometne potražnje zbog kapaciteta zračnih luka pri simulaciji biti će isključena. Nakon što su parametri simulacije podešeni, potrebno aktivirati simulirane rezultate u scenarij pritiskom na gumb *Apply*.



Slika 7. - Simulacija buduće prometne potražnje

Izvor: [7]

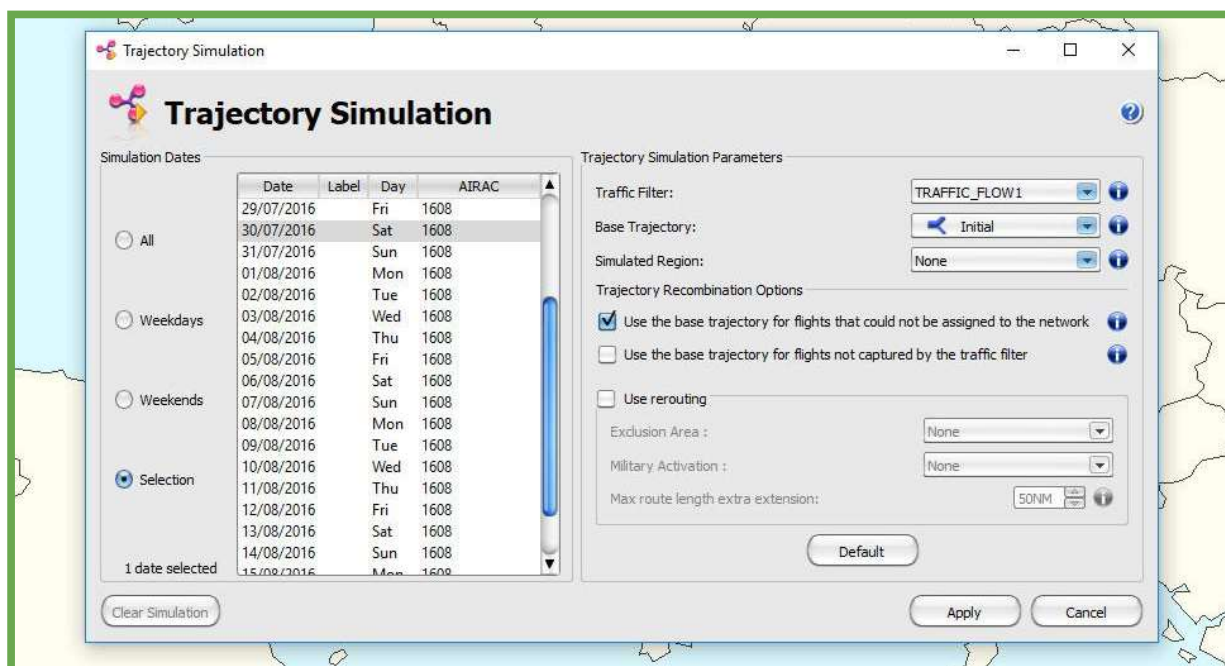
5.3.4. Simulacija putanja zrakoplova

Da bi se dobili strukturirani podaci o simuliranim putanjama odabranih zrakoplova u koraku 2, i simuliranim zrakoplovima dodanim na temelju simulacije buduće prometne potražnje iz koraka 3, potrebno je simulirati putanje simulacijom *Simulate trajectory*.

Postavke parametara za simulaciju putanja se mogu vidjeti iz slike 8. Simulacija preko filtera prometa selektira samo zrakoplove koji su bili odabrani u koraku 2 “TRAFFIC FLOW_1”, osnovne putanje po kojima će se vršiti simulacija su inicijalne putanje iz plana leta, nije potrebno odabrati regiju kroz koju se radi simulacija s obzirom na to da se želi simulirati bilo kakva eventualna promjena putanja leta zrakoplova zbog

zopna isključenja koje mogu pod utjecajem zona isključenja biti postavljene izvan ACC-a Zagreb. Simulacija se izvodi na dan 30.7.2016.

Opcija *Use rerouting* će se koristiti prilikom simulacije sa zonama isključenja, čiji će podaci biti uspoređivani sa simuliranim originalnim scenarijem, u *Scenario economy* analizi. Simulirani originalni scenarij nema kreirane zona isključenja, već je samo simulirano povećanje zračnog prometa i putanje svih zrakoplova.



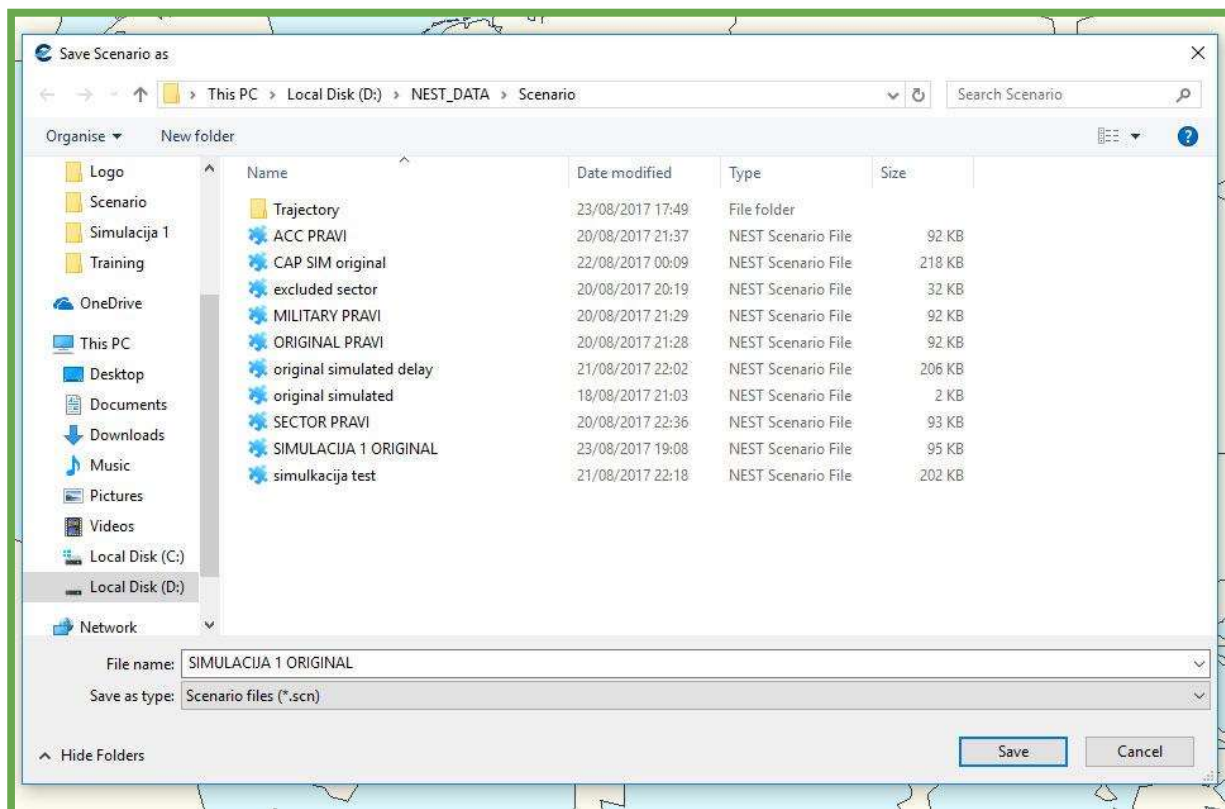
Slika 8. - Simulacija putanja zrakoplova

Izvor: [7]

5.3.5. Spremanje scenarija

Ako bude postojala potreba u budućnosti za povratak u ovaj scenarij potrebno ga je spremiti. Iako je prije svake simulacije scenarij automatski spremljen, dobro je to napraviti ponovno. Spremanje se može vidjeti na slici 9. Također, da bi se smanjilo vrijeme potrebno za generiranje simulacija svih scenarija, moguće je originalni scenarij spremiti u više kopija. Učitavanjem kopiranog scenarija i izmjenom parametara

simulacije, u vrlo kratkom vremenu može se doći do podataka koji su potrebni za konačnu analizu *Scenario economy*.



Slika 9. - Spremanje scenarija

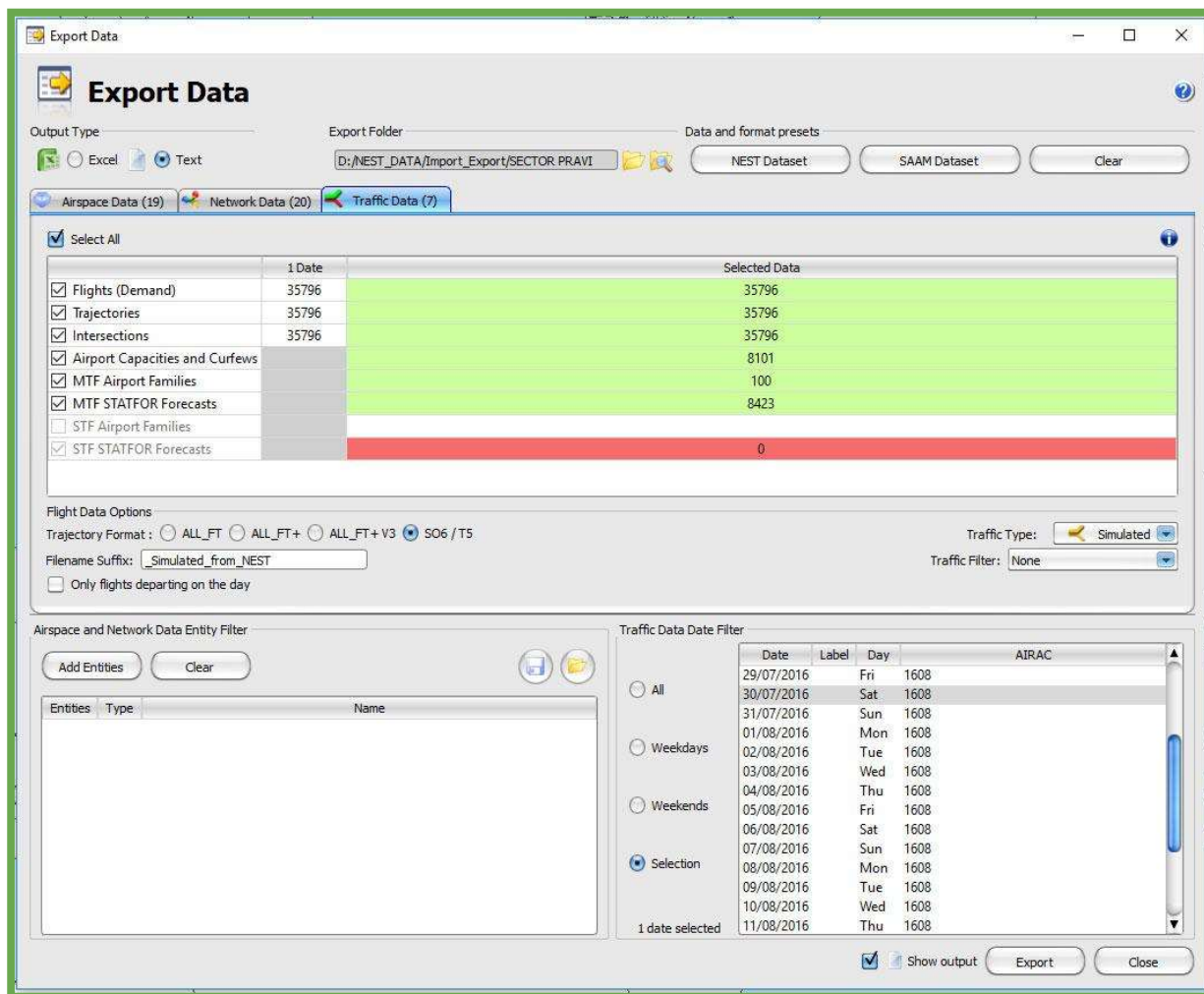
Izvor: [7]

5.3.6. Spremanje podataka za usporedbu

Na kraju simulacije potrebno je spremiti podatke u zahtijevanom “.so6” formatu prikladnom za obradu u *Scenario economy* analizi. Izvoz i spremanje podataka radi se klikom pritiskom na “File > Export data > Export”. U kartici *Traffic data* potrebno je označiti parametre kao što se može vidjeti na slici 10.

Tajectory format mora biti “.so6/T5” jer je to ulazni format za *Scenario economy* analizu, izvoze se podaci za simulirani promet pa je potrebno *Traffic type* postaviti na

Simulated i traffic data date filter na dan 30.7.2016. Kako bi se smanjila potreba za izvršavanjem izvoza podataka za ostale dane koji nisu predmet ovog istraživanja.



Slika 10. - Izvoz i spremanje podataka o trajektorijama za obradu

Izvor: [7]

Nakon simulacije originalnog scenarija bez aktivnih isključenih dijelova zračnog prostora, potrebno je ponoviti postupak uključujući opciju *Use rerouteing* prilikom simulacija trajektorija.

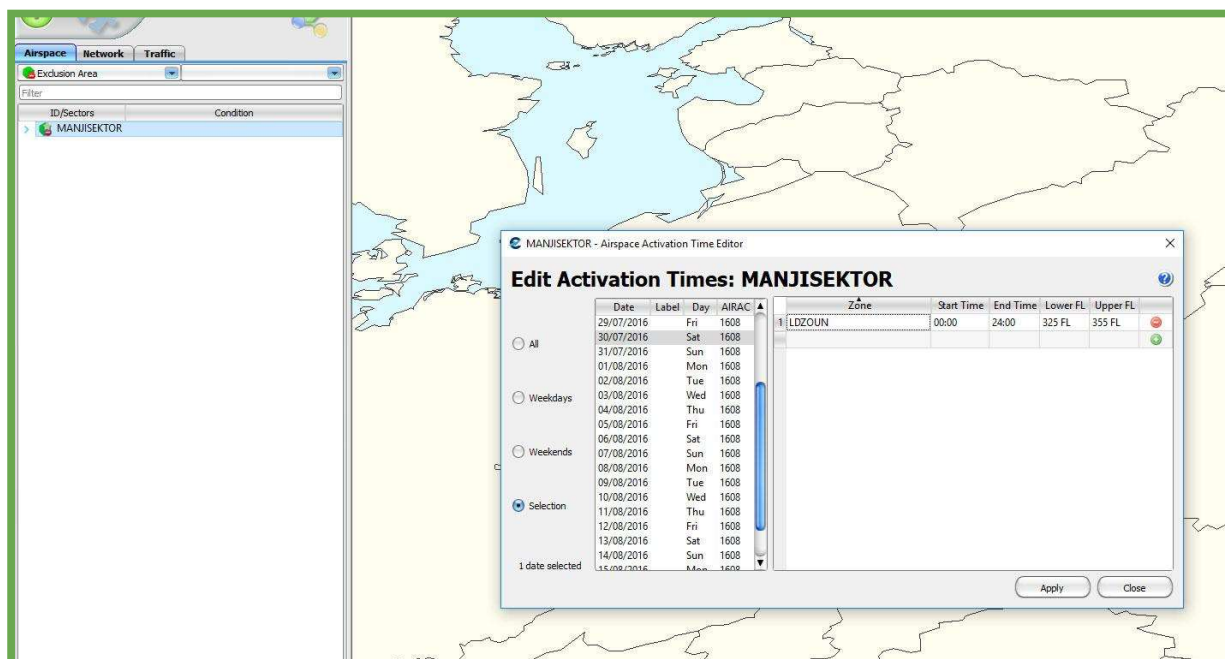
Kako je napomenuto u koraku spremanja, da bi se iskoristila simulacija originalnog (referentnog) scenarija za simulacije sa zonama isključenja, moguće ga je

spremiti kao novi/kopirani scenarij. Postupak novih simulacija je identičan postupku simulacije originalnog scenarija, osim što je u koraku 6 potrebno dodati isključenu zonu u simulaciju trajektorija.

5.3.7. Simulacija trajektorija sa zonama isključenja zračnog prostora

Otvaranje kopiranog originalnog simuliranog scenarija omogućava da se bez potrebe za ponavljanjem prethodnih koraka dođe do željenih rezultata simulacije s isključenim zonama.

Prije ponovne simulacije s aktivnom zonom isključenja, potrebno je izraditi zonu isključenja. Zona isključenja je dio zračnog prostora koji želimo izolirati od prolazaka zrakoplova. Da bi napravili zonu isključenja potrebno se pozicionirati u karticu *Airspace*, odabrati u padajućem izborniku *Exclusion area*, te desnim klikom na prazan prostor odabrati *Create new exclusion area*. Nakon odabira imena zone, potrebno je dodati volumen zračnog prostora u zonu isključenja koji se želi isključiti što se može vidjeti iz slike 11.



Slika 11. - Kreiranje zone isključenja

Izvor: [7]

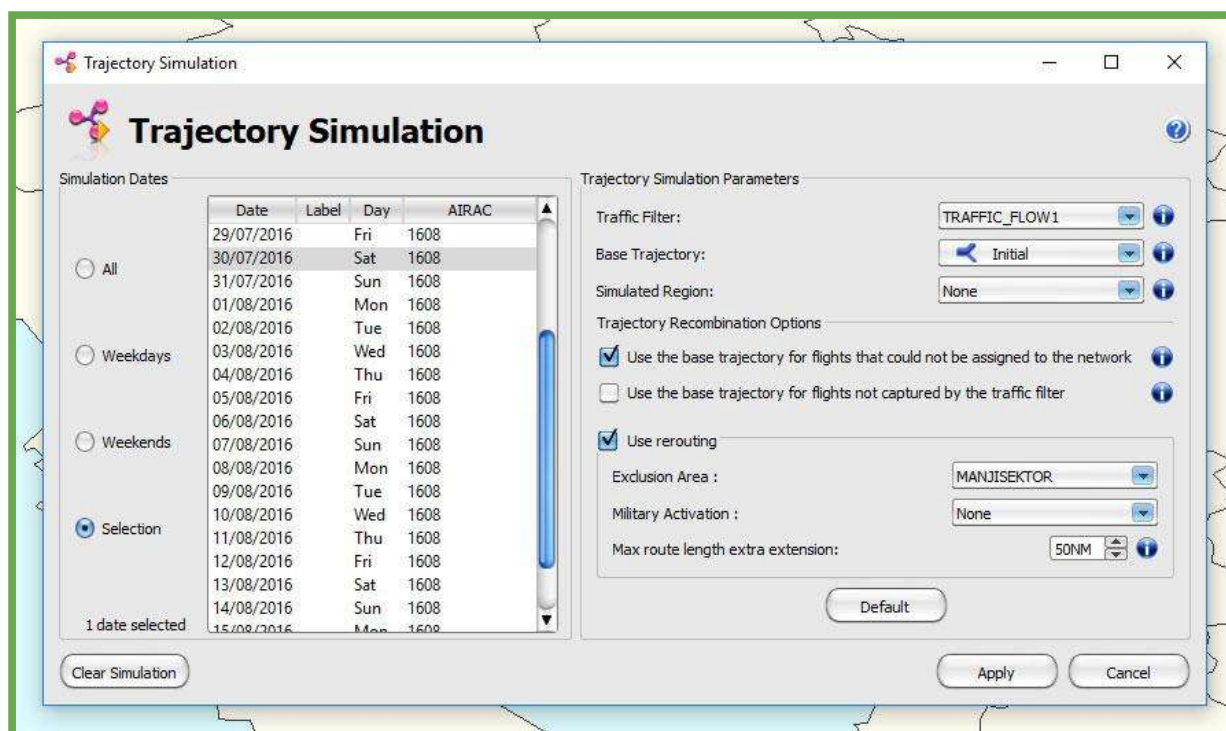
Za simulaciju manjeg sektora odabran je sektor LDZOUN, tzv. *Upper North* sektor. Sektor se prostire od FL325 do FL355, a broj ulazaka zrakoplova koji prelijeću LDZOUN na dan 30.7.2016. iznosi 284.

Za simulaciju većeg sektora odabran je LDZOW, tzv. *West* sektor. Sektor se prostire od zemlje do FL660 i ima dnevni broj ulaza zrakoplova koji prelijeću je 1593.

Treća simulacija zaokuplja cijeli FIR Zagreb od zemlje do FL660 i dnevni broj ulaza zrakoplova koji prelijeću područja letnih informacija (*eng. Flight information region - FIR*) Zagreb na dan 30.7.2016. iznosi 1968. U broj zrakoplova koji prelijeću u zračni prostor nisu uračunati zrakoplovi koji će biti generirani simulacijom buduće prometne potražnje.

Kreiranje zone isključenja omogućuje se odabir zone isključenja prilikom ponovnog simuliranja trajektorija što se može vidjeti iz slike 12. Ponovna simulacija

trajektorija uzima u obzir zone isključenja. U tom slučaju zrakoplovi će zaobilaziti definirane zone isključenja što će se vidjeti kasnijom usporedbom rezultata svakog pojedinog simuliranog scenarija koji uključuje zone isključenja sa simulacijom originalnog scenarija koji ne isključuje niti jednu od definiranih zona.



Slika 12. - Simulacija putanja zrakoplova sa zonama isključenja

Izvor: [7]

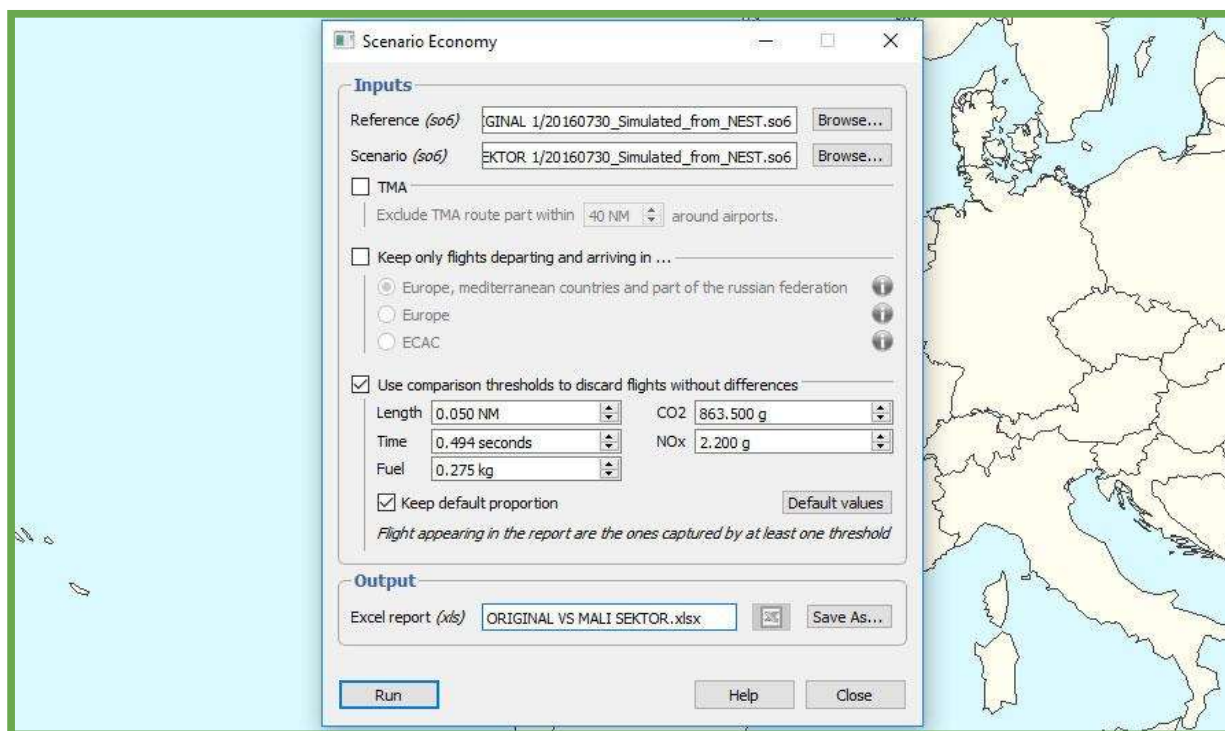
Nakon simulacije potrebno je ponovno spremiti podatke o trajektorijama kako bi bili dostupni za *Scenario economy* analizu.

Navedeni postupak ponavlja se za ostale scenarije, s isključenjem sektora LDZOW, te FIR-a Zagreb.

5.3.8. Usporedba rezultata simulacija analizom *Scenario economy*

Scenario economy je analiza koja uspoređuje putanje zrakoplova dviju simulacija. Prethodno su spremjeni podatci o putanjama originalnog simuliranog scenarija i tri scenarija sa simuliranim zonama isključenja. Kao što je prikazano na slici 13, navedene datoteke o putanjama, u “so6” formatu, se uvode u analizu. *Reference* scenarij je datoteka simulacije putanja originalnog simuliranog scenarija bez simulacije zona isključenja, dok je *Scenario* datoteka simulacija sa simuliranim zonama isključenja manjeg sektora, većeg sektora, te FIR-a Zagreb.

Pokretanjem analize NEST uspoređuje putanju svakog zrakoplova iz originalnog simuliranog scenarija sa simuliranim scenarijem sa zonama isključenja i zbraja razlike koje su po završetku obrade zapisane u excel/ datoteku. Podaci koji se dobivaju su razlike u duljini ukupne putanje, vremenu leta, potrošenom gorivu, generiranom CO2 i NOx ispušnim plinovima. Rezultati analize će biti prikazani u poglavlju analize rezultata.



Slika 13. - Analiza usporedbe putanja, “*Scenario economy*”

Izvor: [7]

5.4. Grupa simulacija 2 - Promjena kapaciteta smanjenjem/povećanjem deklariranog kapaciteta sektora

Druga grupa simulacija prikazati će utjecaj direktne promjene kapaciteta zračnog prostora na pokazatelj učinkovitost ATM-a, ATFM kašnjenje, rješavanjem problema nedostatka kapaciteta aktivacijom regulacija prometne potražnje. Rješenje problema nedostatka kapaciteta aktivacijom regulacija prometne potražnje jedno je od tri rješenja predviđena od strane ATFM priručnika iz poglavlja 5.2. To će se prikazati na način da će se kapaciteti sektora ACC-a Zagreb smanjivati i povećavati od -60 % do +60 % s intervalom promjene od 20 %, u odnosu na kapacitete sektora originalnog simuliranog scenarija (referentnog scenarija) u definiranom vremenskom periodu istraživanja. Nakon korištenja **simulacije regulacija** (*eng. Simulate regulations*) i **simulacije kašnjenja** (*eng. Simulate delays*) na svakom scenariju s izmjenjenim kapacitetom, ukupno dobiveno ATFM kašnjenje svakog scenarija usporediti će se s dobivenim ATFM kašnjenjem definiranog vremenskog perioda promatranja iz originalnog simuliranog scenarija.

U prethodnoj simulaciji, smanjenja kapaciteta isključenjem dijela zračnog prostora, dobiveni rezultati simulacije svakog od scenarija pokazuju utjecaj promjene kapaciteta zračnog prostora na parametre duljine ukupne putanje leta zrakoplova, vrijeme leta, potrošeno gorivo, generiranje CO₂ i NO_x ispušnih plinovima, no ne vidi se utjecaj kapaciteta na pokazatelj učinkovitosti ATM-a u kategoriji Kapacitet, ATFM kašnjenje. Simulacijom 2 istražiti će se utjecaj direktne promjene kapaciteta sektora zračnog prostora na generirano ATFM kašnjenje uz simulaciju povećanja buduće prometne potražnje.

Grupa simulacija 2, poput grupe simulacija 1, imati će referentni/originalni scenarij. Referentni scenarij biti će scenarij u kojemu će se simulirati regulacije (*eng. Simulate regulations*) i kašnjenje (*eng. Simulate delays*) na stvarnim podacima stvarnog scenarija u vremenskom periodu od 15 dana, od 30.7.2016. do 13.8.2016., na protoku prometa koji prolazi kroz ACC Zagreb. Stvarni scenarij je scenarij bez simulacija koji

sadrži stvarne podatke nekog vremenskog perioda koji se dogodio u stvarnosti. U simulaciji referentnog scenarija ne će biti uključena simulacija buduće prometne potražnje. Simulirani referentni scenarij omogućiti će konzistentnost podataka pri kasnijoj usporedbi povećanja kašnjenja simuliranih scenarija s ograničenim kapacitetom sektora. Simulacija se izvodi u periodu od 15 dana zbog ograničenja algoritma simulacije kašnjenja (ISA-CASA) koji se bazira na simulaciji ukupnog kašnjenja na nekom području u statičnom okruženju. Vremenski period simulacije od 15, prema NEST vodiču, osigurava ispravne podatke za obradu i analizu.

U simulacije scenarija s ograničenim kapacitetom sektora, osim simulacije regulacija i kašnjenja, biti će uključena i simulacija o povećanju buduće prometne potražnje. U ovom dijelu istraživanja biti će simulirano 6 scenarija u kojima će osnovni kapacitet originalnih sektora biti promjenjiv od -60 % do +60 % u intervalima po 20 %. Usporedbom generiranog kašnjenja scenarija s izmjenjenim sektorskim kapacitetom, uz povećanje buduće prometne potražnje, s kašnjenjem referentnog sektora, biti će dobiven relativni faktor promjene ATFM kašnjenja. Podatak o faktoru promjene generiranog ATFM kašnjenja moguće je pomnožiti s ATFM kašnjenjem koje je stvarno zabilježeno u stvarnom scenariju u periodu od 30.7.2016. do 13.8.2016., te će se tako dobiti utjecaj promjene kapaciteta i povećanja prometne potražnje na staro kašnjenje.

Potreba za simulacijom originalnog scenarija kao referentnog scenarija proizlazi iz toga što se simulacija regulacija i kašnjenja NEST aplikacijskih algoritama ne poklapa s realnom situacijom generiranja kašnjenja u stvarnosti koji je nastao zbog dinamičkog postavljanja regulacija od strane ljudi, a ne algoritama. Stoga je potrebno pojednostavniti situaciju i napraviti ovaj korak kako bi se podaci istog izvora mogli uspoređivati s podacima iz istog izvora. Kada se usporede podaci istih izvora (simuliranih scenarija) i uvid razlika, tj. faktor povećanja ili smanjenja kašnjenja, taj faktor promjene se može primijeniti na brojke stvarnog scenarija realne situacije koja se dogodila u stvarnosti. Više o samom postupku analize istraživanja može se vidjeti u poglavlju analize rezultata.

Detaljni postupak simulacije svakog od scenarija po koracima je sljedeći:

1. Učitavanje originalnog NEST scenarija
2. Promjena kapaciteta zračnog prostora (ne izvodi se u simulaciji referentnog scenarija)
3. Simulacija prometne potražnje (ne izvodi se u simulaciji referentnog scenarija)
4. Simulacija regulacija
5. Simulacija kašnjenja
6. Spremanje scenarija (u više kopija)
7. Spremanje podataka za analizu.

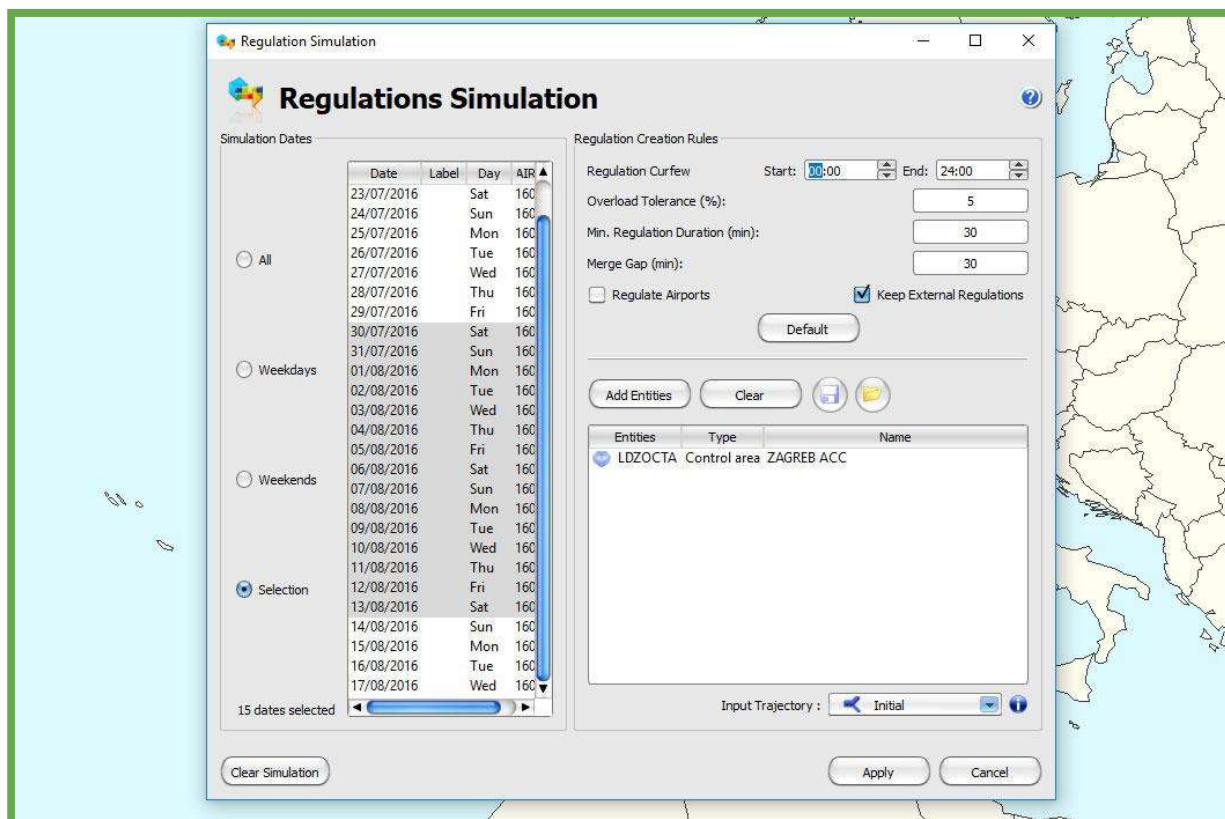
Postupak druge grupe simulacija može se vidjeti na dijagramu toka u prilogu 2.

Točke 1, učitavanja originalnog NEST scenarija, 3, simulacije prometne potražnje, i 6, spremanja scenarija, identične su koracima iz grupe simulacija 1.

5.4.1. Simulacija regulacija

Kako je objašnjeno u uvodu ovog poglavlja, da bi se dobili reprezentativni podaci za usporedbu, u simulaciju originalnog scenarija potrebno je uključiti simulaciju regulacija. To se izvodi odabirom opcije *Regulation simulation* iz izbornika *Scenario*. U simulacijama scenarija sa smanjenjem kapacitetom sektora potrebno je također simulirati regulacije kako bi se promjena kapaciteta "aktivirala", te da bi se pripremili podaci za sljedeći korak u kojem se izvodi simulacija kašnjenja koja na temelju simuliranih regulacija generira njihovo ATFCM kašnjenje.

U simulaciji regulacija potrebno je postaviti parametre kao što je prikazano na slici 14, vrijeme regulacije od 00 – 24 h, tolerancija prekoračenja kapaciteta 5 %, minimalno vrijeme regulacije 30 min, zadržavanje regulacija koje vrijede izvan prostora ACC-a Zagreb u periodu od 30.7.2016 do 13.8.2016. Parametri ove simulacije dobiveni su prethodnom analizom regulacija koje su aktivirane u ACC-u Zagreb kako bi se simulacija što više približila stvarnoj situaciji.



Slika 14. - Parametri simulacije regulacija

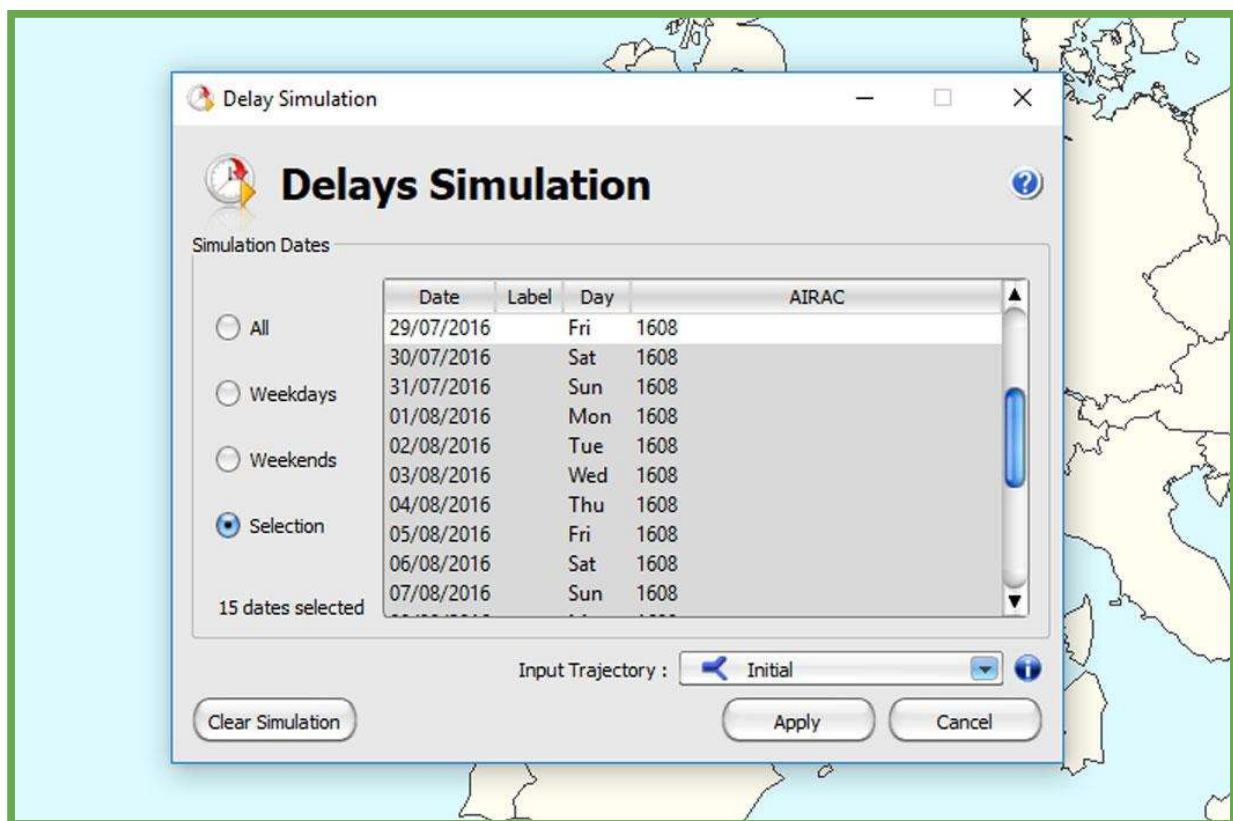
Izvor: [7]

5.4.2. Simulacija kašnjenja

Nakon simulacije regulacija, potrebno je simulirati ATFM kašnjenje koje su te regulacije ostvarile u postavljenom vremenskom periodu. To se izvodi simulacijom kašnjenja, *Simulate delays* iz izbornika *Scenario*.

Simulacija kašnjenja ne iziskuje postavljanje većeg broja parametara, osim vremenskog perioda provedbe simulacije, u slučaju ovog istraživanja od 30.7.2016. do 13.8.2016. Simulacija kašnjenja izračunava kašnjenje po ISA-CASA algoritmu kojem su potrebni ulazni podaci o regulacijama unutar nekog ACC-a i putanjama zrakoplova.

ISA-CASA algoritam je kompleksan algoritam koji na temelju ulaznih podataka računa statično, tj. ukupno kašnjenje za definirani period vremena. Ovaj algoritam nema mogućnost računanja kašnjenja u dinamičnim okruženju gdje dolazi do čestih promjena u parametrima regulacija, te drugih varijabli dinamičke i stohastičke prirode. Iako ova simulacija nije replika stvarne situacije koja bi se dogodila u realnom scenariju, dovoljno je točna za prikaz nagiba i veličine krivulje kašnjenja za definirani period. Dobiveni podaci mogu biti preslikani na stvarnu situaciju. Prozor s parametrima simulacije kašnjenja u NEST aplikaciji može se vidjeti na slici 15.



Slika 15. - Parametri simulacije kašnjenja

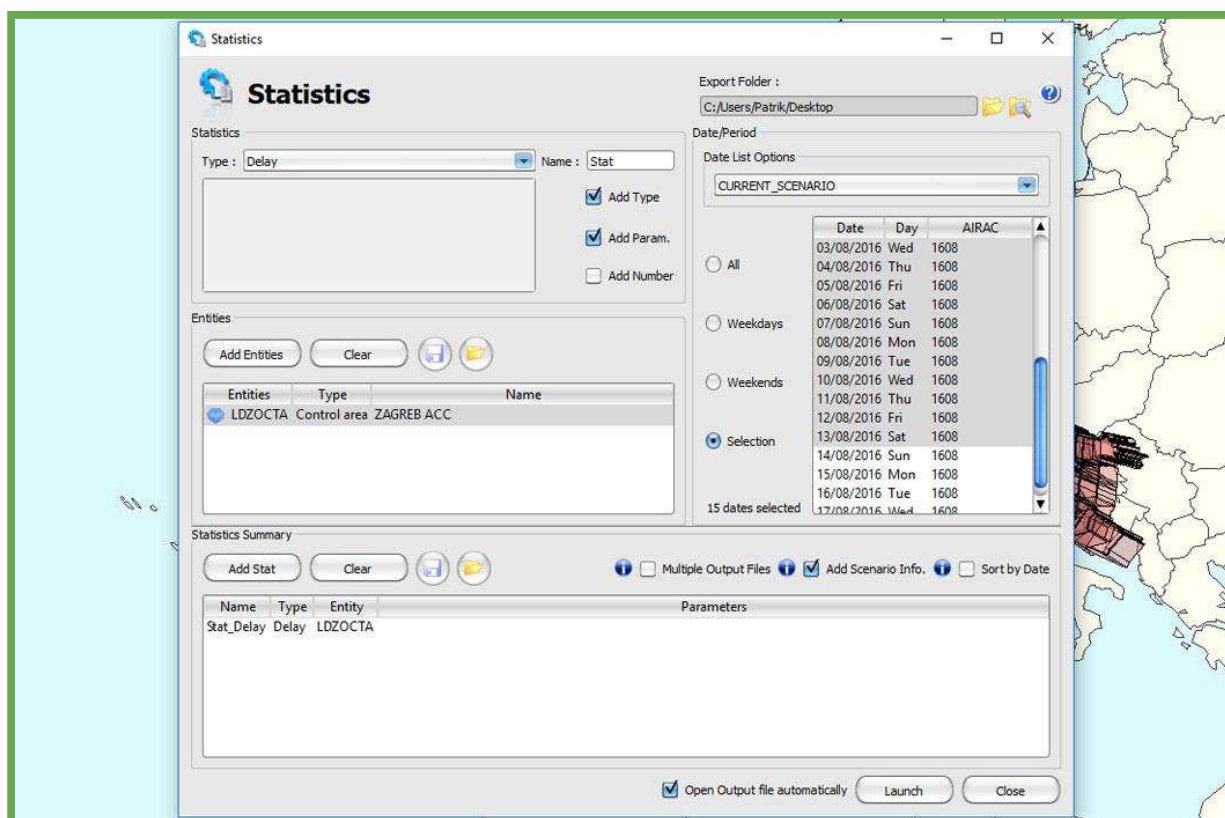
Izvor: [7]

5.4.3. Spremanje scenarija (u više kopija)

Spremanje scenarija u više kopija izvodi se radi lakšeg ponavljanja simulacija s ograničenim kapacitetom. Spremanje ovog scenarija kao baznog na kojem će se vršiti izmjene je korak koji smanjuje vrijeme potrebno da se izvrše sve simulacije.

5.4.4. Spremanje podataka za analizu

Podatak o minutama generiranog ATFM kašnjenja scenarija izvoze se uz pomoć čarobnjaka za statistike (*eng. Statistics wizard*). U čarobnjaku za statistike potrebno je odabrati postavke kao na slici 16, tip statistike kašnjenje, područje ACC-a Zagreb i period od 30.7.2016. do 13.8.2016. Podaci se spremaju u "xls" formatu po danima za koje se kašnjenje simulira.



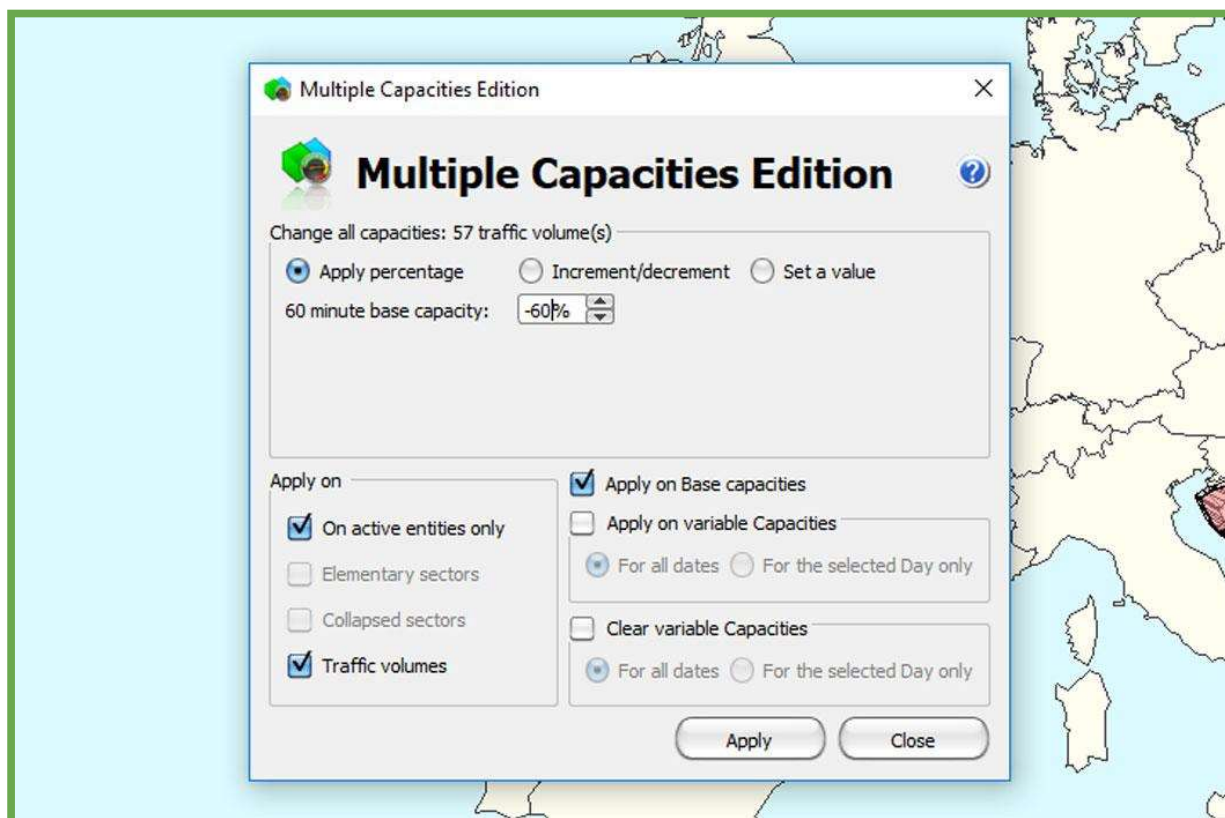
Slika 16. - Čarobnjak za izvoz statistika/podataka o simuliranom kašnjenju

Izvor: [7]

Kada su podaci o referentnom scenariju spremljeni, potrebno je simulirati scenarije sa promijenjenim sektorskim kapacitetom.

5.4.5. Promjena kapaciteta zračnog prostora

Kapacitet sektora nekog ACC-a mijenja se na sljedeći način, u kartici "*Airspace*" potrebno je pronaći željeni ACC, u ovom slučaju, ACC Zagreb (LDZOCTA). Desnim klikom na ime sektora potrebno je odabrati *Edit*, pa zatim *Edit multiple sector/TV capacities*. Kada se otvori prozor za izmjenu kapaciteta, potrebno je postaviti parametre kao na slici 17, izmjena kapaciteta u postotcima, te postotak smanjenja ili povećanja kapaciteta svih sektora. Nakon izmjene kapaciteta potrebno je ponovno pokrenuti simulacije regulacija i kašnjenja. Također, potrebno je uključiti simulacije budućeg povećanja prometa kako bi se u minutama ukupnog kašnjenja uračunao broj minuta kašnjenja zbog povećanja prometa u budućnosti (prema prognozi STATFOR-a). To će otkriti utjecaj promjene kapaciteta i povećanje prometa na kašnjenje, samo u slučaju da sektorska shema tijekom navedenog perioda ostane nepromijenjena.



Slika 17. - Parametri promijene sektorskog kapaciteta

Izvor: [7]

Nakon simulacije regulacija, kašnjenja i povećanja prometa za sve scenarije promjene kapaciteta sektora u ACC-a Zagreb, podatke je potrebno izvesti prema koraku 7, spremanje podataka za analizu.

Analiza podataka dobivenih u obje grupe simulacija biti će predstavljena u sljedećem poglavlju.

6. Analiza utjecaja promjene kapaciteta zračnog prostora na učinkovitost ATM-a

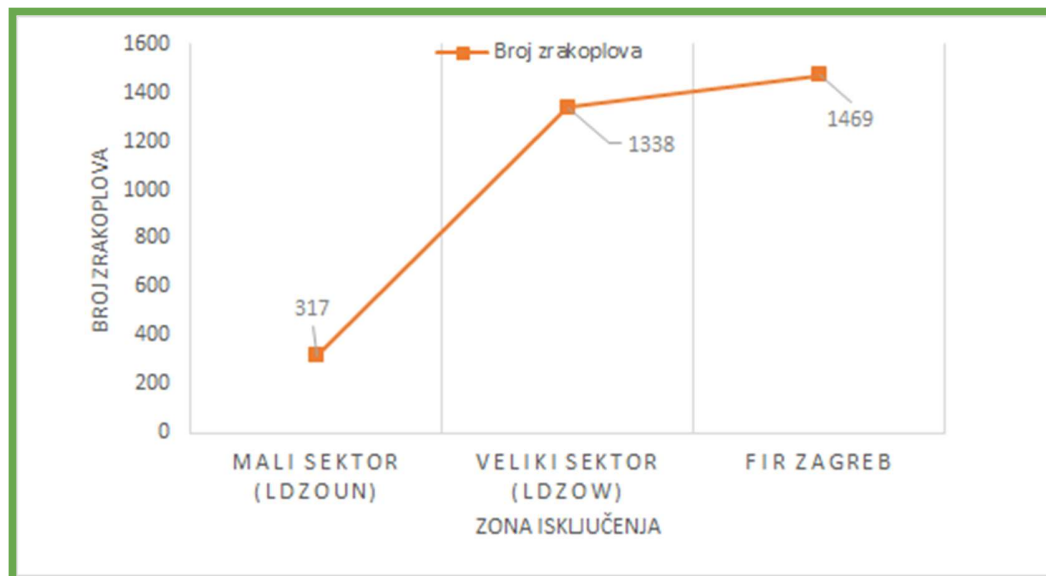
U ovom poglavlju rada biti će analizirani rezultati dobiveni simulacijama 1 i 2 iz prethodnog poglavlja. Rezultati u analizi svake pojedine simulacije biti će strukturirani tako da što bolje prikažu utjecaj promjene kapaciteta zračnog prostora na pokazatelje učinkovitosti ATM-a.

6.1. Analiza rezultata grupe simulacija 1

U grupi simulacija 1, simuliran je utjecaj promjene volumena kontroliranog zračnog prostora na pokazatelje učinkovitosti ATM-a. Usporedbom rezultata svakog pojedinog scenarija simulacije zona ograničenja (mali sektor, veliki sektor i FIR Zagreb) sa simulacijom originalnog scenarija bez aktiviranih zona ograničenja kroz *Scenario economy* analizu dobiveni su rezultati koji su prikazani u nastavku.

Scenario economy je analiza NEST-a koja uspoređuje putanje letova u referentnom scenariju i scenariju koji se uspoređuje. Na temelju usporedbi putanja svakog od simuliranih letova u oba scenarija dobivaju se rezultati razlika duljine leta, vremena trajanja leta, potrošenog goriva, i generirane količine CO₂ i NO_x ispušnih plinova.

Broj zrakoplova na koje je utjecala promjena kapaciteta u Simulaciji 1 u scenariju isključenja malog sektora iznosi 317, velikog sektora, 1338 i cijelog FIR-a Zagreb 1469. Utjecaj pojedine zone isključenja na broj zrakoplova može se vidjeti iz grafa 10.

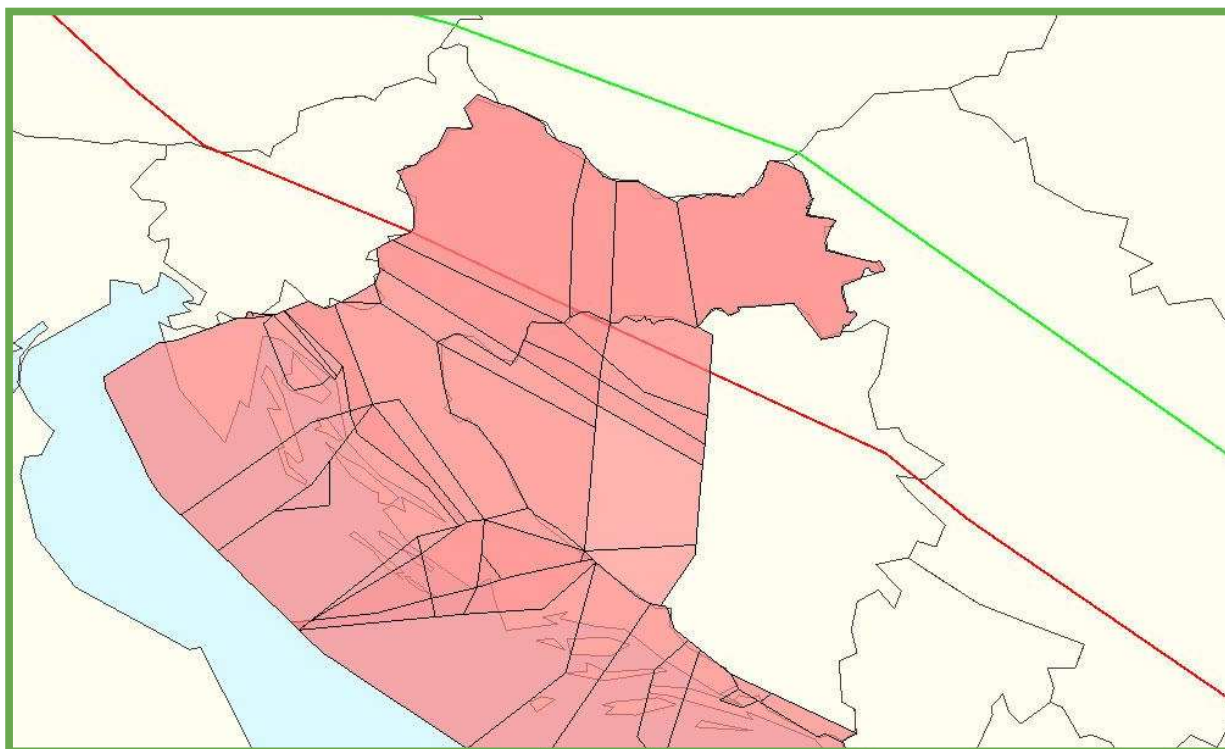


Grafikon 10. - Broja zrakoplova pod utjecajem zone isključenja

Izvor: [7]

6.1.1. Usporedba duljina leta (u NM)

Ukupna duljina leta u sva tri scenarija sa zonama isključenja, u odnosu na simulaciju originalnog scenarija je očekivano veća. Svaka od zona isključenja ograničava prolazak zrakoplova tim dijelom zračnog prostora zbog čega zrakoplovi moraju preletjeti dodatne nautičke milje. Na slici 18, može se vidjeti razlika između putanja zrakoplova scenarija koji zaobilazi zonu i originalnog scenarija u kojem taj isti zrakoplov prolazi kroz zonu koja u tom slučaju nije isključena.

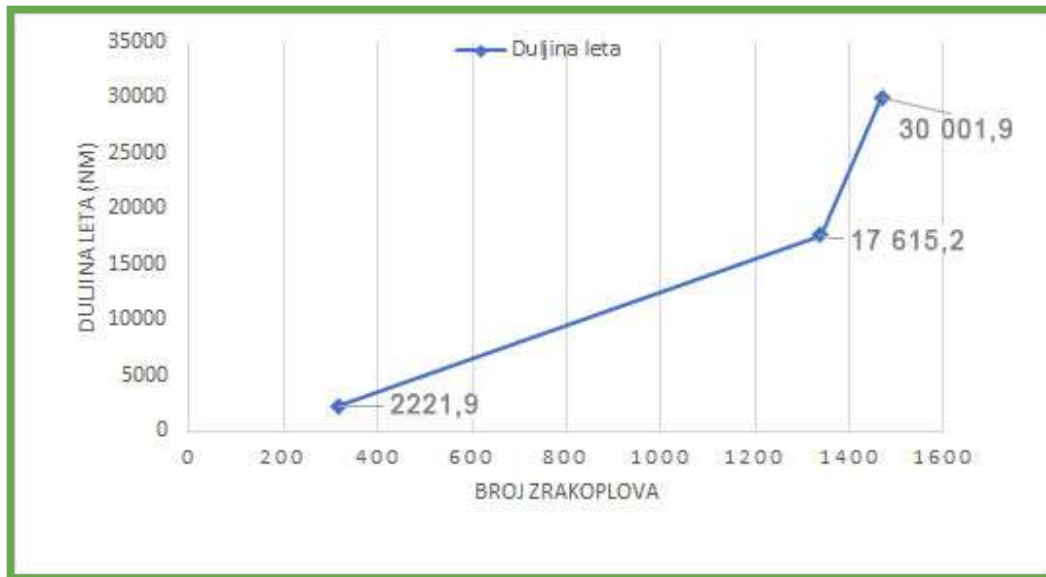


Slika 18. - Razlika putanja zrakoplova sa (zeleno) i bez zone isključenja (crveno)

Izvor: [7]

Iz grafa 11, može se vidjeti kako se duljina leta promatranog zrakoplova povećava s obzirom na povećanje zone isključenja, tj. broja zrakoplova na koje zona utječe. Ukupna duljina leta zrakoplova scenarija u kojem je zona isključenja manji sektor, LDZOUN, u odnosu na originalni scenarij, povećala se za 2222 NM. U scenariju zone isključenja većeg sektora, povećala se za 17 615 NM, a u scenariju zone isključenja cijelog FIR-a Zagreb, povećala se za 30 002 NM. [7]

Na grafu 11 također se može uočiti da je promjena duljine leta u scenariju manje zone isključenja (LDZOUN) koja utječe na manji broj zrakoplova i scenarija srednje zone isključenja (LDZOW) blaža dok se s porastom broja zrakoplova na koji utječe zona isključenja naglo povećava duljina leta promatranih zrakoplova.



Grafikon 11. - Odnos broja zrakoplova pod utjecajem zone i ukupne duljine leta

Izvor: [7]

6.1.2. Usporedba vremena trajanja leta (u min)

Vrijeme leta zrakoplova u sva tri scenarija se sa smanjenjenim kapacitetom zračnog prostora se povećava. Veća zona isključenja svojom aktivacijom utječe na veći broj zrakoplova.

S trostrukim porastom broja zrakoplova po utjecajem zone isključenja, vrijeme leta se poveća dvanaest puta što se može vidjeti na grafu 12 u odnosu podataka između malog i velikog sektora. S daljnjim porastom zrakoplova na koje utječe promjena kapaciteta, vrijeme leta se znatno povećava, no nešto sporijim tempom nego duljina leta iz prethodnog grafa koji prikazuje promjenu duljine leta s povećanjem broja zrakoplova na koje uzjeće zona isključenja.

Što je zona isključenja veća, broj zrakoplova na koji utječe se povećava, a s povećanjem broja zrakoplova povećava se i potrebno vrijeme leta od vrlo velikog povećanja koje s porastom broja zrakoplova biva sve veće.



Grafikon 12. - Odnos broja zrakoplova pod utjecajem zone i ukupnog vremena leta

Izvor: [7]

6.1.3. Usporedba potrošenog goriva (u kg)

Potrošnja goriva vezana je direktno s prijeđenom udaljenošću zrakoplova što znači da su grafovi potrošnje goriva i prijeđene udaljenosti vrlo slični, a to se može vidjeti na grafu 13.

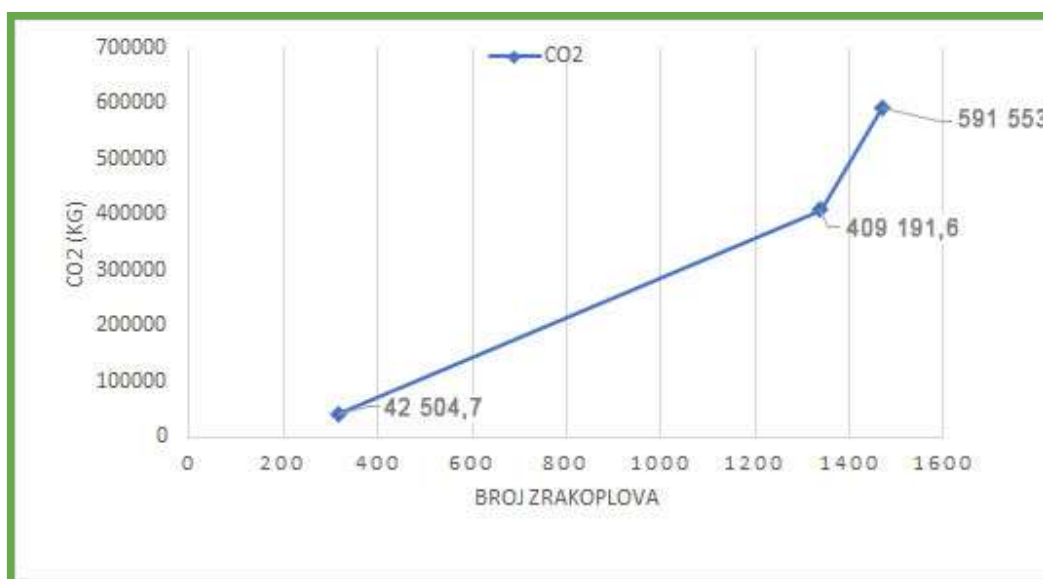
Kod manjih brojeva zrakoplova na koje utječe zona isključenja, promjena u potrošnji goriva je sporija. S povećanjem zone isključenja dolazi do povećanja broja zrakoplova na koje ona utječe, te do naglije promijene u potrošnji goriva nego kod manjih brojeva zrakoplova pod utjecajem zone isključenja.



Grafikon 13. - Odnos broja zrakoplova pod utjecajem zone i ukupnog potrošenog goriva
Izvor: [7]

6.1.4. Usporedba generiranog CO₂ i NO_x ispušnih plinova (u kg)

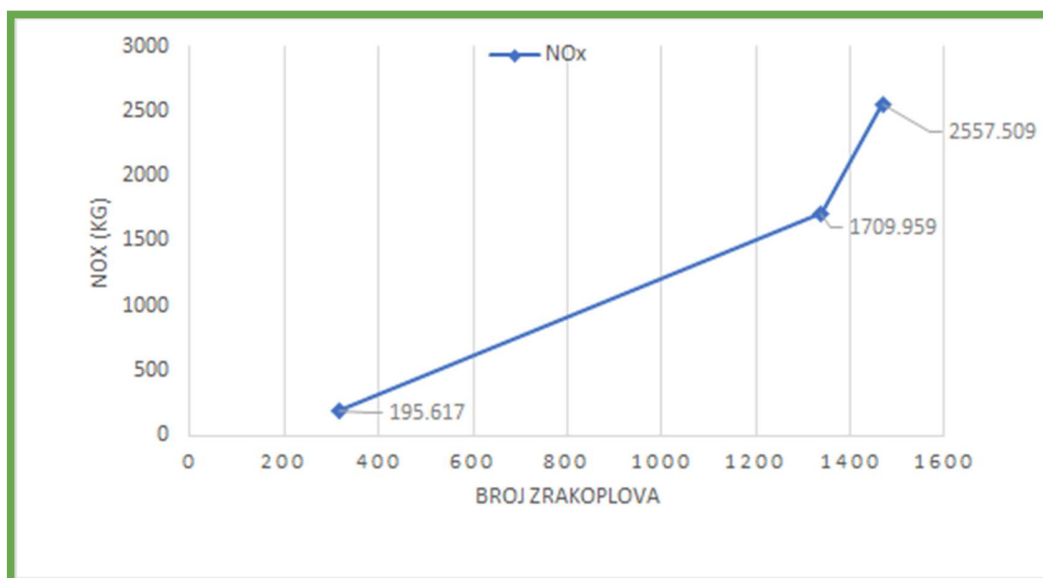
Ispušni plinovi CO₂ i NO_x direktno su vezani za potrošnju goriva koja je vezana za prijeđenu udaljenost zrakoplova. Promjena CO₂ ispušnih plinova s obzirom na broj zrakoplova na koji utječe zona isključenja može se vidjeti iz grafa 14.



Grafikon 14. - Odnos broja zrakoplova pod utjecajem zone i ukupno generiranog CO₂

Izvor: [7]

Promjena NO_x ispušnih plinova s porastom broja zrakoplova na koje utječe zona isključenja može se vidjeti na grafu 15. Kod manjih brojeva zrakoplova pod utjecajem zone isključenja, količina ispušnih plinova se povećava sporije nego što je ta promjena kod većih brojeva zrakoplova na koje utječe zona, tj. kod većeg smanjenja kapaciteta zračnog prostora.



Grafikon 15. - Odnos broja zrakoplova pod utjecajem zone i ukupno generiranog NO_x

Izvor: [7]

6.2. Analiza rezultata grupe simulacija 2

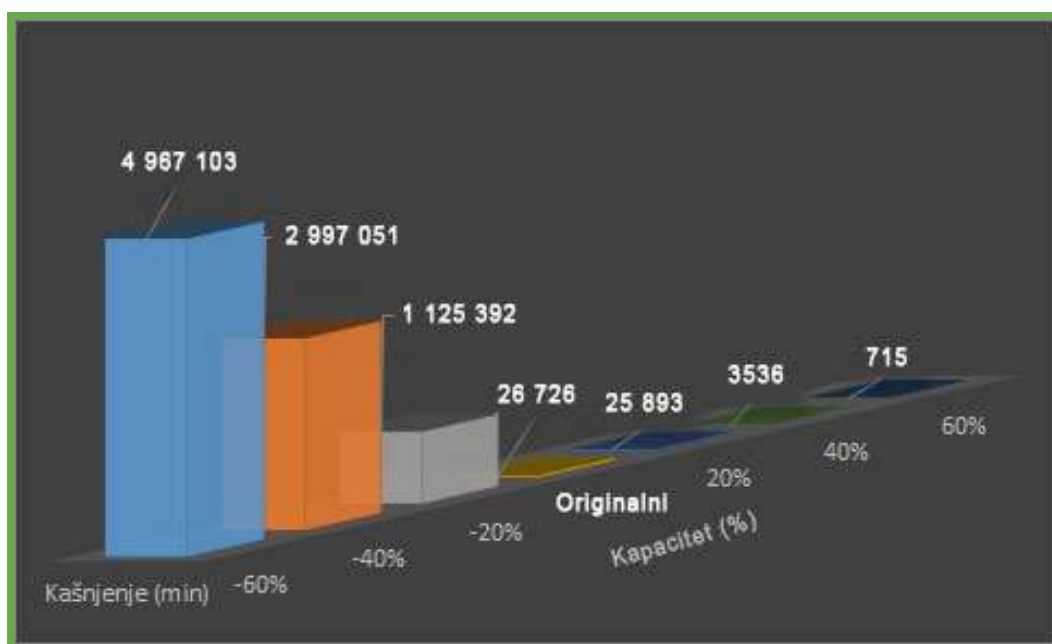
U grupi simulacija 2, simuliran je utjecaj promjene osnovnog kapaciteta svih sektora u ACC-u Zagreb na ATFM kašnjenje prometne potražnje tog zračnog prostora.

Iz grafa 16 može se vidjeti koliko minuta kašnjenja je generirala promjena sektorskih kapaciteta, od -60 % do +60 % osnovnog kapaciteta. Potrebno je naglasiti kako simulacije uključuju i simulaciju povećanja prometne potražnje po STATFOR-ovoj

osnovnoj prognozi za 2022. godinu, dok simulacija referentnog scenarija ne uključuje simulaciju povećanja prometa.

Stvarno kašnjenje u promatranom periodu bilo je 3709 minuta dok je za istu prometnu situaciju, kapacitete, prostor i vremenski period, simulacijom kroz NEST dobiveno 26 726 minuta kašnjenja. To govori da je ATM ACC-a Zagreb učinkovitiji nego što to prognoziraju algoritmi NEST-a.

Povećanje simuliranog kašnjenja u minutama, biti će preračunato u faktor promjene (povećanja/smanjenja) u odnosu na originalni simulirani scenarij. Nadalje, stvarno kašnjenje biti će uvećano/umanjeno za dobiveni faktor promjene kako bi se dobio utjecaj promjene kapaciteta sektora i povećanja prometa na stvarno ATFM kašnjenje, stvarnog scenarija.



Grafikon 16. - Utjecaj promjene kapaciteta na simulirano ATFCM kašnjenje

Izvor: [7]

6.2.1. Utjecaj smanjenja kapaciteta na ATFM kašnjenje

Smanjenjem kapaciteta sektora ACC-a Zagreb od 20 %, uz simulaciju prometa osnovnog scenarija STATFOR-a za 2022. godinu, u periodu od 30.7.2016. do 13.7.2016., kašnjenje se s 26 726 minuta povećalo na 1 125 392 minute. [7]

Smanjenjem kapaciteta od 40 %, kašnjenje se povećalo na gotovo 2 997 051 minutu. Smanjenjem kapaciteta za 60 % generiralo bi prema simulaciji NEST-a 4 967 103 minute kašnjenja. [7]

S obzirom na to da je u simulaciji referentnog scenarija, u koji nije uključena prognoza prometne potražnje već simulirano kašnjenje, pojava većeg kašnjenja pri minimalnom smanjenju kapaciteta je očekivana. Iako je kašnjenje očekivano veće, povećanje kašnjenja 42 puta je vrlo velika promjena. Daljnjim smanjenjem kapaciteta na -40 % generira kašnjenje 112 puta veće od onog u simulaciji originalnog scenarija, dok smanjenje kapaciteta na -60 % generira kašnjenje 186 puta veće.

Ovim nizom simulacija dokazuje se da minimalno smanjenje kapaciteta ACC-a Zagreb može generirati znatna kašnjenja. Simulacije scenarija nisu uključivale mjere povećanja kapaciteta kao što su FRA koncept upravljanja prometom, te nije bio otvoren maksimalan broj mogućih sektora. U aktivacijom ovakvih, i drugih sličnih mjera iz poglavlja 4 ovog Diplomskog rada, koje će se vjerojatno dogoditi do 2022. godine, potrebno je ne samo održati, već dodatno povećati kapacitet da bi se izbjeglo generiranje velikog ATFM kašnjenja ACC-a Zagreb.

6.2.2. Utjecaj povećanja kapaciteta na ATFM kašnjenje

Povećanje kapaciteta ACC-a Zagreb za 20 %, uz zadržavanje iste sektorske konfiguracije, uz povećanje prometa prema STATFOR-ovoj osnovnoj prognozi za 2022. godinu smanjilo bi kašnjenje za samo 833 minute, na 25 893 minute. S obzirom na to da se prema STATFOR-ovim prognozama očekuje kontinuirani rast zračnog prometa u ACC-u Zagreb do 2022. godine, ovo može biti pozitivan pokazatelj da minimalno povećanje kapaciteta može osigurati smanjenje kašnjenja. [7]

Povećanje za 40 % znatno bi smanjilo kašnjenje u odnosu na simulaciju originalnog scenarija. Kašnjenje u ovom slučaju iznosi 3536 minuta što je 13 % kašnjenja simulacije originalnog scenarija. [7]

Povećanje kapaciteta za 60 % u odnosu na originalni scenarij generiralo je minimalnih 715 minuta kašnjenja, što je oko 2,5 % kašnjenja originalnog scenarija. Rezultati simulacije pokazuju da bi kašnjenje bilo generirano samo u danima s prometnom potražnjom većom od 2450 zrakoplova. [7]

Ovim nizom simulacija scenarija dokazano je da bi minimalno povećanje kapaciteta, bez obzira na to što dolazi do povećanja prometne potražnje, generiralo smanjeno kašnjenje u odnosu na situaciju koja je bila aktivna u vremenskom periodu ove analize. Daljnjim povećanjem kapaciteta od 40 % i više, kašnjenje bi se smanjilo na prihvatljivu razinu samo u danima sa srednje intenzivnom prometnom potražnjom, dok bi dani s vrlo intenzivnom prometnom potražnjom i dalje generirali znatna kašnjenja. Zabrinjavajuće je što bi veliko povećanje kapaciteta od 60 % za koje je potrebnom puno promjena u trenutnom ATM sustavu i dalje generiralo kašnjenje.

Implementacija mjera povećanja kapaciteta iz poglavlja 4 ovog Diplomskog rada, kao što je H24 FRA koncept, mogu utjecati na dovoljno povećanje kapaciteta koje će osigurati minimalna kašnjenja u prostoru nadležnosti kontrole zračnog prometa ACC-a Zagreb.

6.2.3. Primjena rezultata simulacije promjene kapaciteta na stvarno ATFM kašnjenje

Stvarno ATFM kašnjenje u promatranom periodu od 30.7.2016. do 13.8.2016. iznosilo je 3709 minuta [7]. Ako se faktori promjene ATFM kašnjenja za svaku promjenu kapaciteta iz prethodno simuliranih scenarija pomnože sa stvarnim ATFM kašnjenjem,

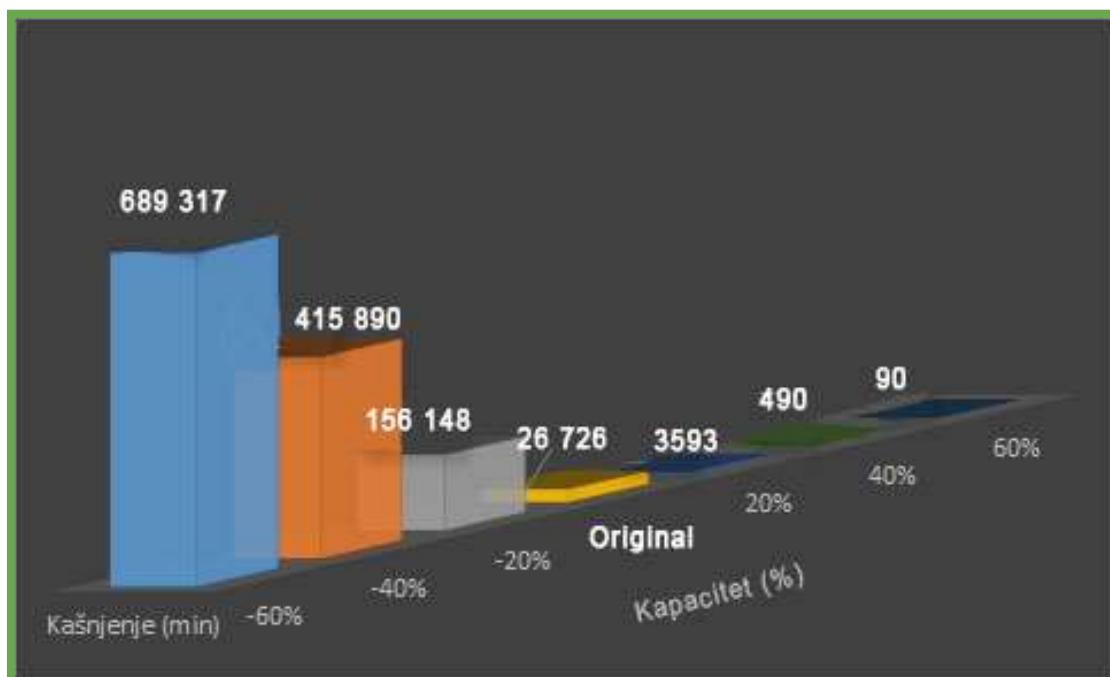
dobiti će se podatak o tome kako bi promjena kapaciteta s povećanjem prometa utjecala na učinkovitost stvarnog ATM sustava.

Faktori povećanja kašnjenja sa smanjenjem kapaciteta zračnog prostora su sljedeći: [7]

- Za smanjenje kapaciteta 20 % faktor povećanja iznosi 42,10
- Za smanjenje kapaciteta 40 % faktor povećanja iznosi 112,13
- Za smanjenje kapaciteta 60 % faktor povećanja iznosi 185,85
- Za povećanje kapaciteta 20 % faktor smanjenja iznosi 0,9688
- Za povećanje kapaciteta 40 % faktor smanjenja iznosi 0,1323
- Za povećanje kapaciteta 60 % faktor smanjenja iznosi 0,0267

Kao što se može vidjeti iz grafikona 17, stvarno kašnjenje za smanjenje sektorskog kapaciteta od 20 % s povećanjem prometne potražnje prema osnovnoj prognozi STATFORA za 2022. godinu bi iznosilo 156 148,9 minuta, za smanjenje kapaciteta od 40 %, povećanje kašnjenja bi iznosilo 415 890,2 minute i za smanjenje kapaciteta od 60 %, kašnjenje bi iznosilo 689 317,65 minuta. [7]

Nadalje, za povećanje kapaciteta od 20 % s povećanjem prometne potražnje prema osnovnoj prognozi STATFORA za 2022. godinu bi se smanjilo na 3593,27 minuta, daljnjim povećanjem kapaciteta kašnjenje bi se smanjilo na 490 minuta, dok bi za povećanje kapaciteta od 60 % kašnjenje iznosilo 99 minuta. [7]



Grafikon 17. - Utjecaj promjene kapaciteta na stvarno ATFCM kašnjenje

Izvor: [7]

Bitno je napomenuti da, zbog prirode ovog istraživanja utjecaja promjene kapaciteta na učinkovitost ATM-a, simulacije nisu izvođene dinamički, već statički. Statički izvođene simulacije osiguravaju da se dobije baš onaj podatak koji se traži, u ovom slučaju utjecaj promjene kapaciteta zračnog prostora s povećanjem prometne potražnje na ATFM kašnjenje, bez utjecaja drugih čimbenika koji bi zbog svoje dinamike mogli utjecati na promjenu traženog rezultata. Promjene dinamičke prirode koje bi eventualno mogle utjecati na promjenu u rezultatima zbog promjene promatranog kapaciteta mogu biti promjena i ICO optimizacija sektorizacije, povećanje broja sektora, korištenje FRA koncepta i slično.

Upravo zbog prethodno navedenih razloga mala smanjenja kapaciteta zračnog prostora generiraju izrazito velike količine ATFCM kašnjenja. Utjecaj dinamičkih promjena i implementacija rješenja SESAR projekta do 2022. godine vjerojatno će omogućiti znatna povećanja kapaciteta koja će dovesti do konačnog, smanjenja pojave ATFM kašnjenja.

7. ZAKLJUČAK

Kontinuirano povećanje zračnog prometa predstavlja veliki problem za učinkovitost sustava upravljanja zračnim prometom Europe, pa tako i prostora pod nadležnošću ACC-a Zagreb, koje se očituje kroz degradaciju pokazatelja učinkovitosti ATM-a. Da bi se u potpunosti zadovoljila prometna potražnja, te osigurala ista, tj. bolja kvaliteta usluge, ANSP-i moraju osigurati dovoljan kapacitet zračnog prostora. Kroz simulacije smanjenja kapaciteta istražen je utjecaj poremećaja na pokazatelje učinkovitosti sustava ATM-a, kao što je pad sustava, loši vremenski uvjeti i sl. Simulacije povećanja kapaciteta prikazale su utjecaj budućih implementacija mjera povećanja kapaciteta ATM masterplana na pokazatelje sustava ATM-a, kao što su djelomična ili potpuna implementacija FRA koncepta, multisektorsko planiranje i druge iz poglavlja 4 ovoga rada.

Analizom prve grupe simulacija, te usporedbom promjene veličine zone isključenja, broj zrakoplova na koje ima utjecaj, te promatranjem pokazatelja učinkovitosti duljine leta, vremena leta, potrošnje goriva i ispuštanja štetnih plinova u atmosferu, se može zaključiti kako se s povećanjem zone isključenja povećava i broj zrakoplova na koji ona ima utjecaj. Kod promjene veličina zone u području manjih dimenzija zona (npr. povećanje zone s manjeg sektora na veći sektor), promjena u broju zrakoplova na koje povećanje zone ima utjecaj je vrlo skokovita, dok je promjena u području većih zona (npr. povećanje zone s većeg sektora na cijeli ACC) puno blaža.

Za razliku od promjene broja zrakoplova na koje zona utječe, promjena pokazatelja učinkovitosti s povećanjem zone ima suprotan efekt. Pokazatelji učinkovitosti *Scenario economy* analize imaju blažu promjenu u području manjih veličina zona isključenja, dok su vrlo skokovite u području većih zona isključenja. Ovakav utjecaj smanjenja kapaciteta na degradaciju pokazatelja učinkovitosti, vjerojatno se može pripisati tome što npr. zrakoplovi na koje je utjecala manja zona, pri

utjecaju veće zone moraju preletjeti više da bi zonu zaobišli, dok pri širenju zone, zona „zahvaća“ veći broj zrakoplova s blagim rastom.

Iz rezultata druge grupe simulacija može se zaključiti kako se, i pri vrlo malom smanjenju kapaciteta sektora, uz povećanje buduće prometne potražnje (STATFOR, osnovna, 2022. godina), generira vrlo veliko ATFM kašnjenje. Nadalje, da bi se osiguralo smanjenje ATFM kašnjenja u budućnosti, prema podacima iz Simulacije 2 ovoga rada, nije dovoljno „malo“ povećati kapacitet (0 - 20 %), već je potrebno implementirati mjere za povećanje kapaciteta koje će osigurati povećanje od minimalno 50 %. Da se ATFM kašnjenje u potpunosti ukloni, i u dane najveće prometne potražnje (preko 2500 preleta zrakoplova u ACC-u Zagreb), rezultati simulacija su pokazali kako 60 % povećanje kapaciteta u odnosu na 2016. godinu nije dovoljno, već je potrebno implementirati rješenja koja će generirati povećanje kapaciteta znatno više od 60 %.

Iako u promatranom periodu, u ACC-u Zagreb, nisu bili aktivni svi sektori, njihova eventualna aktivacije vjerojatno neće biti u mogućnosti povećati kapacitet u tolikoj mjeri da se odgovori na predviđenu potražnju. Kao odgovor na povećanje prometne potražnje i ostale neplanirane situacije koje mogu uzrokovati smanjenje kapaciteta zračnog prostora, potrebno je što prije implementirati mjere za povećanje kapaciteta iz ATM masterplana kako bi se osigurao dodatni kapacitet s kojim ne će doći do generiranja prekomjernog kašnjenja.

Literatura

- [1] European Organisation for the Safety of Air Navigation, Young D., SESAR Single European Sky ATM Research, 2007 [cited 2017 Aug] Available from:
<http://www.atsri.or.jp/cns.atm/symposium/7sympoMS/sesar.pdf>
- [2] Sesar Joint Undertaking, European ATM Master Plan, Executive Edition 2015, 2015
- [3] PROVEDBENA UREDBA KOMISIJE (EU) br. 390/2013 od 3. svibnja 2013. - o utvrđivanju plana performansi za usluge u zračnoj plovidbi i mrežne funkcije, 2013
- [4] Network manager, Eurocontrol, CODA Digest 2015, 2016 May 30
- [5] Eurocontrol, Performance Review Report, An Assessment of Air Traffic Management in Europe during the Calendar Year 2015, Final report, 2016 June 23
- [6] Network Manager, Eurocontrol, ATFCM Users Manual, 2007 May 30, [cited 2017 Aug] Available from:
<https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/nm/network-operations/HANDBOOK/atfcm-users-manual-current.pdf>
- [7] Eurocontrol, NEST Application, Data: AIRAC 1608, 2016 August
- [8] Eurocontrol, Performance Indicator - Horizontal Flight Efficiency, Guglielmo G., 2014 May 23 [cited 2017 Aug], Available from:
http://prudata.webfactional.com/wiki/images/6/61/HFE_Methodology_2014_05_23.pdf
- [9] Eurocontrol, Performance Review Commission, Performance Review Report 2005, Final Report, 2006 April 20, Available from:
<https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/prr-2005.pdf>

[10] Network Manager, Eurocontrol, ATFCM Operations Manual, Network Operations Handbook 2017 May 3, [cited 2017 Aug] Available from:

<https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/nm/network-operations/HANDBOOK/ATFCM-Operations-Manual-current.pdf>

[11] ICAO, Document 4444, Procedures for Air Navigation Services — Air Traffic Management 16th Edition, 2016 October 11

[12] Eurocontrol ATM Lexicon, Declared capacity, 2017, [cited 2017 Aug], Available from: https://ext.eurocontrol.int/lexicon/index.php/Declared_capacity

[13] Network Manager, Eurocontrol, Capacity assessment and planning guidance document, 2013 April 9, [cited 2017 Aug], Available from: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/nm/airspace/capacity-assessment-planning-guidance-doc-v2-8final.pdf>

[14] SESAR Joint Undertaking, Sesar Solution Catalogue, 2016

[15] Eurocontrol, NEST User Guide 1.6, 2017 May

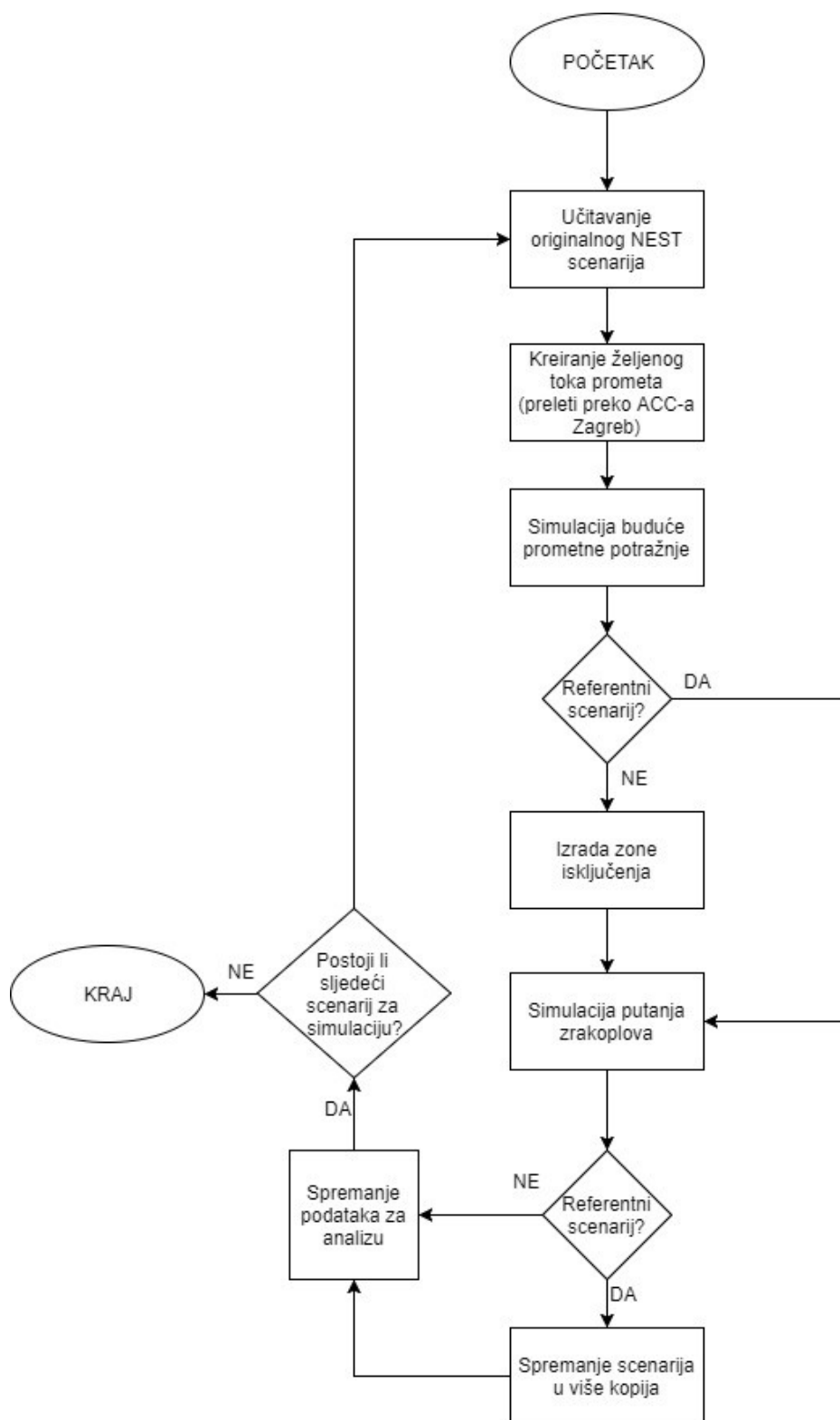
Popis kratica

SES	(Single European Sky) Ujedinjeno europsko nebo
SESAR	(Single European Sky ATM Research)
ATM	(Air Traffic Management) upravljanje zračnim prometom
EC	(European Commission) Europska komisija
EU	(European Union) Europska Unija
ATM Masterplan	(Air Traffic Management Master Plan) plan razvoja sustava upravljanja zračnim prometom
STATFOR	(Statistics and Forecast) usluga statistika i predviđanja buduće prometne potražnje
FAB	(Functional Airspace Block) funkcionalni blok zračnog prostora
RAT	(Risk Analysis Tool) alat za analizu rizika
FUA	(Flexible Use of Airspace)
CDR	(Conditional Route) uvjetna ruta
DUC	(Determined Unit Cost) utvrđeni jedinični trošak
R&D	(Research and Development) razvoj i istraživanje
CO2	(Carbon dioxide) ugljikov dioksid
ANSP	(Air Navigation Service Provider) pružatelj usluge kontrole zračnog prometa
ATFM	(Air Traffic Flow Management) jedinica upravljanja protokom prometa
NM	(Network Manager) upravitelj mrežom
IFR	(Instrument Flight Rules) pravila letenja po instrumentima
FMP	(Flow Management Position) upravitelj protokom prometa
CODA Digest	(Central Office for Delay Analysis Digest) izvještaj analize kašnjenja
ATFM PRR	(Air Traffic Flow Management Performance Review Report) izvještaj o učinkovitosti upravljanja protokom prometa

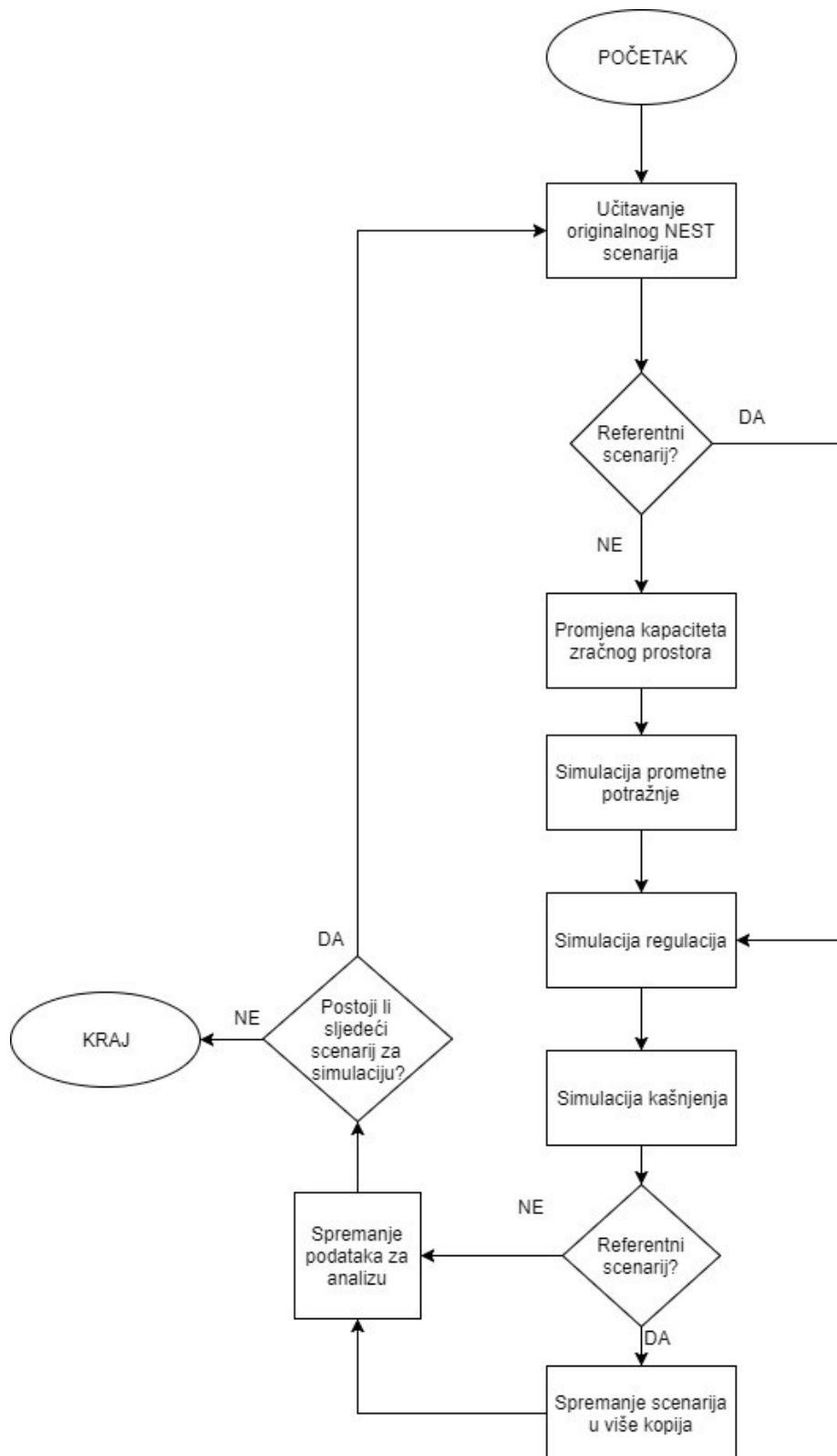
IATA	(International Air Transport Association) Međunarodne organizacije za zračni prijevoz
ACC	(Area Control Center) centar kontrole letenja
HKZP	Hrvatska kontrola zračne plovidbe
ECAC	(European civil aviation conference) Europska organizacija civilnog zrakoplovstva
ATC	(Air traffic control) usluga kontrole zračnog prometa
FRA	(Free route airspace) koncept slobodnog letenja
ESRA	(Eurocontrol Statistical Reference Area) referentna statistička regija Eurocontrola
H24	0-24 sata
ATFCM	(Air traffic flow and capacity management) usluga upravljanja protokom i kapacitetom zračnog prometa
NOP	(Network operations plan) plan mrežnih operacija
ICAO	(International Civil Aviation Organisation) Međunarodna organizacija za civilno zrakoplovstvo
RTS	(Real time simulation) simulacija u realnom vremenu
RNP	(Required navigation performance)
ASAS	(Airborne Separation Assistance System) aplikacija za pomoć pri razdvajanju
CTA	(Controlled time of arrival) kontrolirano vrijeme dolaska
MTCD	(Medium term conflict detection)
STCA	(Short term conflict alert) sustav uzbunjivanja kasnih konflikata
ACAS	(Airborne collision avoidance system) sustav za izbjegavanje sudara u zraku
A-RNP	(Advanced RNP) napredni RNP
FL	(Flight Level) razina leta
NEST	(Network Strategic Tool) Alat za strateško mrežno planiranje

SAAM	(System for Traffic Assignment and Analysis at a Macroscopic level) Sustav za dodjeljivanje i analizu prometa na mikroskopskoj razini
NEVAC	(Network Estimation & Visualization of ACC Capacity) aplikacije za procjenu i vizualizaciju kapaciteta ACC-a
NOx	(Nitrous oxide) dušični oksidi
AIRAC	(Aeronautical Information Regulation and Control) sustav regulacije i kontrole zrakoplovnih informacija
FIR	(Flight information region) područje letnih informacija
ISA-CASA	algoritam simulacije kašnjenja

Prilog 1. Dijagram toka grupe simulacija 1



Prilog 2. Dijagram toka grupe simulacija 2



METAPODACI

**Naslov rada: Utjecaj kapaciteta zračnog prostora na učinkovitost sustava
upravljanja zračnim prometom**

Student: Patrik Kranjčec, 0135221625

Mentor: doc. dr. sc. Biljana Juričić

Naslov na drugom jeziku (engleski):

Influence of Airspace Capacity on Air Traffic Management Efficiency

Povjerenstvo za obranu:

- | | |
|----------------------------------|-------------|
| · doc. dr. sc. Anita Domitrović | predsjednik |
| · doc. dr. sc. Biljana Juričić | mentor |
| · dr. sc. Tomislav Radišić | član |
| · izv. prof. dr. sc. Doris Novak | zamjena |

Ustanova koja je dodijelila akademski stupanj: Fakultet prometnih znanosti
Sveučilišta u Zagrebu

Zavod: Zavod za aeronautiku

Vrsta studija: diplomski

Studij: Aeronautika

Datum obrane diplomskog rada: 26. rujna 2017.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj **diplomski rad** isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu **diplomskog rada** pod naslovom **UTJECAJ KAPACITETA ZRAČNOG PROSTORA NA UČINKOVITOST SUSTAVA UPRAVLJANJA ZRAČNIM PROMETOM** na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, 26.09.2017.

(potpis)